

UNIVERSIDAD DE CUENCA



**FACULTAD CIENCIAS QUÍMICAS
ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA**

**“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE SECADO EN PASTAS
ALIMENTICIAS”.**

Trabajo de titulación Previo a la Obtención Del Título de: Ingeniero Químico.

AUTORA:

ISABEL MARGARITA AGUILAR GUNCAY

C.I: 0105505770

DIRECTOR:

ING. EDGAR GUSTAVO CARDOSO MARTÍNEZ

CI: 0101136232

Cuenca – Ecuador

2017

RESUMEN

El presente trabajo, realizado en PASTIFICIO NILO, nace de la necesidad que tiene la empresa de evaluar su situación actual en el proceso de secado de pastas alimenticias para establecer un control más adecuado y eficiente de los parámetros de secado. Con el propósito de optimizar el proceso de secado se realizó la determinación de parámetros de secado (temperatura, humedad relativa, velocidad de aire y tiempo) así como también la evaluación de los parámetros de calidad y funcionalidad del producto (humedad en base seca, humedad en base húmeda, actividad acuosa).

Para poder alcanzar los objetivos establecidos fue necesario recolectar datos a lo largo de todo el proceso de secado que, en su situación primigenio, duraba aproximadamente 43 horas, lo cual se logró gracias a la ubicación estratégica de 10 sensores en el cuarto de secado, los cuales emitían datos de temperatura y humedad relativa, con lo que se pudo determinar que la empresa estaba trabajando con temperaturas de secado muy bajas y, en consecuencia, tiempos de secado muy largos. Posteriormente se procedió al análisis de la humedad, tanto de las muestras de fideo al entrar al secadero, como al final del proceso de secado.

Una vez determinados los parámetros de secado actuales de la empresa, se procedió a realizar un seguimiento de la humedad de las piezas de fideo a lo largo de todo el proceso de secado, esto con el fin de obtener las curvas de secado y así poder recomendar el tiempo de secado óptimo.

Palabras Claves: secado, humedad relativa, temperatura de secado, tiempo de secado, contenido de humedad, deshidratación, actividad de agua.

ABSTRACT

The present study, developed at PASTIFICIO NILO, comes from the company's need to evaluate its present situation in the pasta drying process to establish a more adequate and effective control of this parameters. In order to optimize the drying process we determined the needed parameters (temperature, relative humidity, air velocity and time) as well as an evaluation on of the quality and functionality of the product (humidity in a dry base, humidity in a humid base, water activity).

To reach the established objectives it was necessary to collect data throughout the drying process that. In an early situation the process lasted 43 hours. With the strategic location of 10 sensors in the drying room providing information of temperature and relative humidity, it was determined that the company had been working with substandard drying temps, consequently, the drying time was too long. It was determined that the final product has a humidity below optimum therefore defective; cracked and with unusual color.

Once the actual drying parameters were determined, a follow up of the pasta throughout the whole process mas made in order to obtain the humidity levels to have a better assessment of the drying curvatures to have a more accurate knowledge of the time frame to recommend as an optimum drying time.

Key words: drying, relative humidity, drying temperature, drying time, moisture content, dehydration, water activity.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	2
ABSTRACT.....	3
ÍNDICE DE CONTENIDOS	4
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
ABREVIATURAS.....	11
Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional.....	12
CLÁUSULAS DE PROPIEDAD INTELECTUAL.....	13
AGRADECIMIENTO	14
DEDICATORIA	15
INTRODUCCIÓN	16
OBJETIVOS	17
Objetivo General	17
Objetivos específicos	17
CAPÍTULO I	18
MARCO TEÓRICO	18
1.1 Materias primas	18
1.1.1 Harina de trigo	18
1.1.2 Sémola de trigo durum.....	21



1.1.3	Agua.....	21
1.1.4	Otros.....	22
1.2	Pastas Alimenticias	22
1.2.1	Definición	23
1.2.2	Orígenes de la pastas.....	23
1.2.3	Características de la harina para pastas alimenticias	24
1.2.4	Clasificación	24
1.2.5	Criterios de calidad de la pasta	25
1.2.6	Valor nutritivo de la pasta.....	26
1.2.7	Descripción general de producción de pastas secas.....	27
1.3	Secado	31
1.3.1	Generalidades.....	31
1.3.2	Agua.....	32
1.3.3	Actividad del agua	33
1.3.4	Isotermas de Sorción.....	35
1.3.5	Parámetros de Secado	37
1.3.6	Psicrometría	38
1.4	Procesos del secado.....	39
1.4.1	Difusión de la humedad	39
1.4.2	Curvas de velocidad de Secado	40
1.4.3	Transmisión de calor y transferencia de masa	41
1.4.4	Proceso de secado de pastas alimenticias	42
1.4.5	Microorganismos presentes en la pasta	44
1.4.6	Parámetros de secado.....	45



CAPITULO II	48
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y ANÁLISIS	48
2.1 Generalidades de la empresa	48
2.1.1 Objetivos de la empresa	48
2.1.2 Organigrama de la empresa	49
2.1.3 Distribución de la planta	49
2.2 Situación actual en el área de secado	50
2.2.1 Descripción de la maquinaria	51
2.3 Descripción del proceso de producción	53
2.4 Descripción del proceso de secado	54
2.5 Determinación de los parámetros de secado	56
2.5.1 Parámetros en el cuarto de secado	56
2.6 Análisis de los parámetros de secado del proceso original.....	62
2.6.1 Parámetros del cuarto de secado	62
2.6.2 Parámetros en el producto final	63
CAPITULO III.....	65
MEJORAS AL PROCESO DE SECADO.....	65
3.1 Tiempo de secado.....	65
3.1.1 Materiales.....	65
3.1.2 Métodos	66
3.1.3 Curvas de secado	66
3.1.4 Isotermas de sorción	67
3.2 Pruebas piloto de secado	69



3.2.1	Materiales.....	69
3.2.2	Método	70
CAPÍTULO IV		72
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		72
4.1	Tiempo de secado en condiciones de la fábrica	72
4.1.1	Análisis de humedad para la sección A	72
4.1.2	Análisis de humedad.....	74
4.2	Análisis de las pruebas piloto de secado	76
CAPÍTULO V		80
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		80
5.1	Conclusiones	80
5.2	Recomendaciones.....	81
BIBLIOGRAFÍA		82
ANEXOS		85
DATOS OBTENIDOS		85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición aproximada del grano de trigo	20
Tabla 2. Requisitos para pastas alimenticias o fideos secos procedentes de la mezcla de sémola de trigo duro y harina de trigo	26
Tabla 3. Aporte nutricional de pastas simples para 100g de alimento.....	27
Tabla 4. Determinación de parámetros en el producto final	63
Tabla 5. Equipos utilizados para la determinación del tiempo óptimo de secado	66
Tabla 6. Seguimiento de humedad y actividad acuosa en las 37 horas de secado.....	73
Tabla 7. Parámetros de las muestras en los diferentes ensayos	76
Tabla 8. Datos del sensor 1 para la generación de las curvas de la figura 15	85
Tabla 9. Datos del sensor 2 para la generación de las curvas de la figura 16.....	86
Tabla 10. Datos del sensor 3 para la generación de las curvas de la figura 17	87
Tabla 11. Datos del sensor 4 para la generación de las curvas de la figura 18.....	88
Tabla 12. Datos del sensor 5 para la generación de las curvas de la figura 19.....	89
Tabla 13. Datos del sensor 6 para la generación de las curvas de la figura 20.....	90
Tabla 14. Datos del sensor 7 para la generación de las curvas de la figura 21	91
Tabla 15. Datos del sensor 8 para la generación de las curvas de la figura 22.....	92
Tabla 16. Datos del sensor 9 para la generación de las curvas de la figura 23.....	93
Tabla 17. Datos del sensor 10 para la generación de las curvas de la figura 24.....	94
Tabla 18. Datos para las curvas de secado a 35°C de la figura 28 y 29	95
Tabla 19. Continuación	96
Tabla 20. Datos para las curvas de secado a 46°C de la figura 28 y 29	97
Tabla 21. Continuación	98
Tabla 22. Datos para las curvas de secado a 57°C de la figura 28 y 29	99
Tabla 23. Continuación	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Dibujo de la estructura del grano de trigo	19
Figura 2. Esquema tecnológico de producción de pastas	28
Figura 3. Fotografía de las isotermas de adsorción y desorción de agua.....	35
Figura 4. Fotografía de las isotermas de adsorción de agua de varios alimentos	36
Figura 5. Fotografía de los períodos de secado a velocidad constante y decreciente.....	41
Figura 6. Organigrama de la empresa Pastificio Nilo.....	49
Figura 7. Layout de la planta de producción	50
Figura 8. Layout del cuarto de secado	51
Figura 9. Fotografía del tubo por donde circula el calor	52
Figura 10. Fotografía de los ventiladores	52
Figura 11. Fotografía de los extractores	53
Figura 12. Diagrama de flujo del proceso de producción de pastas alimenticias	54
Figura 13. Diagrama de proceso de operaciones del secado de pastas alimenticias	55
Figura 14. Esquema de la ubicación de los sensores en el cuarto de secado.....	56
Figura 15. Curva de Temperatura y % HR del sensor 1	57
Figura 16. Curva de Temperatura y % HR del sensor 2	57
Figura 17. Curva de Temperatura y % HR del sensor 3	58
Figura 18. Curva de Temperatura y % HR del sensor 4	58
Figura 19. Curva de Temperatura y % HR del sensor 5	59
Figura 20. Curva de Temperatura y % HR del sensor 6	59
Figura 21. Curva de Temperatura y % HR del sensor 7	60
Figura 22. Curva de Temperatura y % HR del sensor 8	60
Figura 23. Curva de Temperatura y % HR del sensor 9	61
Figura 24. Curva de Temperatura y % HR del sensor 10.....	61
Figura 25. Fotografía de los equipos utilizados en los ensayos de secado de pastas alimenticias	69
Figura 26. Curva de secado en relación a la humedad en base húmeda para el proceso de 37 horas.....	73

Figura 27. Curva de secado de la sección A en relación al contenido de humedad en base húmeda para el proceso de 24 horas	74
Figura 28. Isotherma de desorción de la sección A en relación al contenido de humedad en base seca para el proceso de 24 horas	75
Figura 29. Curvas de secado a diferentes temperaturas en relación al contenido de humedad en base húmeda	78
Figura 30. Curvas de secado a diferentes temperaturas en relación al contenido de humedad en base seca	79



ABREVIATURAS

a_w	Actividad de agua
p	Presión parcial del vapor de agua
p_o	Presión parcial del vapor del agua pura
%HR	Humedad relativa
m	Humedad en base seca
% H_2O	Humedad en base húmeda
t_d	Temperatura de bulbo seco
t_w	Temperatura de bulbo húmedo
Θ	Tiempo de secado
ss	Sólido seco

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

UNIVERSIDAD DE CUENCA




Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Isabel Margarita Aguilar Guncay en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE SECADO EN PASTAS ALIMENTICIAS", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 07 de diciembre de 2017.



Isabel Margarita Aguilar Guncay

C.I. 0105505770

CLÁUSULAS DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Isabel Margarita Aguilar Guncay, autora de la tesis, "OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE SECADO EN PASTAS ALIMENTICIAS", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 07 de diciembre de 2017.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Isabel Margarita Aguilar Guncay", written over a horizontal line.

Isabel Margarita Aguilar Guncay

C.I: 0105505770

AGRADECIMIENTO

En primera instancia un eterno agradecimiento a Dios y a la Virgen del Cisne, quienes son luz en mi camino. Un agradecimiento a todos quienes participaron en la formación de mi carrera profesional, personas de gran sabiduría que me han ayudado a llegar al punto en el que me encuentro. Un especial agradecimiento al Ingeniero Gustavo Cardoso Martínez, tutor de mi trabajo de titulación, quien con su dirección, paciencia y tiempo guió este proyecto de titulación hasta su culminación. De igual manera un agradecimiento a la Ingeniera Verónica Saetama quien con su ayuda me brindo un aporte importante en la realización de este trabajo.

También agradecer a la empresa Pastificio Nilo y a todos quienes laboran en la misma, por la confianza brindada y por abrirme las puertas de reconocida empresa para llevar a cabo mi trabajo de titulación.

“La recompensa se encuentra en el esfuerzo no en el resultado. Un esfuerzo total es una victoria completa”

DEDICATORIA

“Ha sido largo el viaje, pero al fin llegue”

Sin duda este trabajo se lo dedico a mi hijo, Thiago Rafael, el cual ha sido la razón para mejorar día a día como persona y madre. “Seguir cuando crees que no puedes más, porque no perduran los momentos duros pero las personas fuertes si”. Te amo hijo.

A mis padres, Digna y Miguel, por su esfuerzo y apoyo incondicional a lo largo de mi vida y estudios, porque gracias a ellos adquirí los valores que hoy definen mi vida. Hoy veo forjado un anhelo, una ilusión y un deseo: mi carrera profesional. Por ustedes la obtuve y con ustedes la comparto.

A mi tía Leticia, segunda madre para mi hijo y para mí, quien ha sido pilar fundamental estos últimos años en mi vida. Por el impulso que me brindó en los momentos más difíciles de mi carrera y por ayudarme a vencer los obstáculos en el camino. “Hoy compartimos el mismo amor por un pequeño ser”

A mis hermanos, Santiago y Miguel, quienes son mi fuerza para enfrentar cada una de las situaciones que se presentan en mi camino. Porque aunque no estemos juntos físicamente con su ejemplo me han enseñado que no importa las veces que caigas sino cuantas veces te levantas para seguir en la lucha. Los amo.

A mi abuelita, mis tíos y primos, por ser quienes han estado en mis caídas y triunfos; enseñándome el valor de la familia.

A mis estimados amigos, Belén y Christian, con quienes he compartido desde el inicio en esta gran aventura de mi vida universitaria, convirtiéndose en los últimos años en personas en las cuales he podido confiar totalmente y a pesar de mis faltas han sabido aceptarme tal y como soy. Porque a la final cuando se trata de amistad importa la calidad y no la cantidad.



INTRODUCCIÓN

Hoy en día las industrias enfrentan la necesidad de un mejoramiento continuo de sus procesos, con el fin de lograr niveles de eficiencia que les permita reducir costos, mejorar la calidad de los productos y lograr un buen rendimiento de los procesos.

El proceso de secado en la fabricación de pastas alimenticias es una de las operaciones más importantes, determina en gran medida la calidad del producto final. El proceso de secado supone un sistema compuesto por dos fases: la primera es el aire de secado en la cual se controlan parámetros como: humedad relativa, temperatura y tiempo de secado; en tanto que la segunda fase es la masa a secar en la cual se controlan parámetros como: el contenido de humedad y actividad acuosa.

Un inadecuado control de los parámetros de secado incurre en gastos innecesarios, producto no conforme y deficiencia en el proceso. Es posible realizar un diagnóstico del proceso de secado a través de la medición tanto de parámetros del secado como del producto final, para luego evaluar estos resultados y con ellos proponer cambios para mejorar el proceso.



OBJETIVOS

Objetivo General

Optimizar el proceso de secado en la fábrica de fideos y tallarines Nilo.

Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico de las condiciones actuales del proceso de secado de la fábrica de fideos y tallarines Nilo.
- Determinar condiciones de secado con la medición de parámetros como: temperatura, tiempo, humedad relativa y velocidad del aire.
- Determinar las condiciones del producto final con la medición de parámetros como: humedad en base seca, humedad en base húmeda, actividad acuosa.
- Evaluar los resultados obtenidos de los parámetros tanto de secado como de la funcionalidad del producto final.
- Corregir el o los parámetros que estén a nuestro alcance y luego evaluar la funcionalidad del producto.
- Realizar pruebas experimentales de secado, a escala de laboratorio, y determinar la temperatura a la cual el producto presenta una humedad en base seca de aproximadamente 13%, y cuál de estos resulta en menos tiempo.



CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Materias primas

Las materias primas indispensables en la fabricación de pastas alimenticias secas son la harina o sémola de trigo duro, o una mezcla de ambas y el agua. Existen también otros ingredientes que ayudan a mejorar su calidad nutricional u organoléptica de las pastas pero que no se las considera como vitales.

1.1.1 Harina de trigo

El trigo es uno de los tres granos más ampliamente producidos en el mundo, con el arroz y el maíz, y es el más consumido por el hombre desde la antigüedad. El grano del trigo se lo utiliza para hacer harina, harina integral, sémola, cerveza y una gran variedad de productos alimenticios. En general, las harinas que se originan de granos duros se destinan a las panificadoras y a la fabricación de pastas alimenticias, y las originarias de trigos blandos a la elaboración de masas pasteleras. (Candia, 2008)

La cadena del trigo inicia con la producción agrícola del cereal, seguida por la producción del grano, para luego proceder al proceso de molturación de trigo, de la cual se obtiene harina y subproductos. Los pasos básicos de la molienda son la trituración (para fragmentar el grano), el tamizado (para separar partículas de acuerdo a su tamaño) y la purificación (para separar las partículas provenientes del salvado o pericarpio). (Mora, 2012)

Estructura del grano de trigo.- los granos de trigo presentan forma ovoide, redondeados en ambos extremos, en uno de los cuales se ubica el germen y en el otro un mechón de finos pelos (pincel). En la figura 1 se observa que el grano está compuesto por tres partes

principales que son: endospermo, pericardio y germen (Kent, 1971). El endospermo representa cerca del 83% del grano y es la que contiene el almidón. El pericardio constituye la mayor parte del salvado la cual representa del 13% al 15% del grano, la mayoría de las capas del salvado son eliminadas durante el proceso de molienda, y estas se utilizan principalmente como alimento para animales. El germen es el componente en menor cantidad y representa del 2% al 3% de su tamaño, es la parte del grano que se convertirá en la nueva planta si se le hace germinar. Tiene un alto contenido graso por lo que se pone rancio con facilidad, razón por la cual las harinas que provienen de esta parte son difíciles de conservar. (Martínez, 2012)

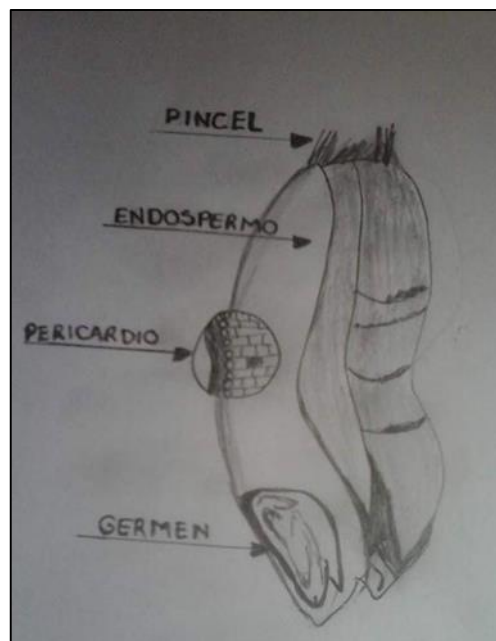


Figura 1. Dibujo de la estructura del grano de trigo

(Kent, 1971)

Clasificación.- las harinas de trigo se clasifican en dos tipos que son: harinas blandas y harinas para pastas secas. Las primeras provienen de la molienda de trigo común (*Triticum aestivum*) y/o trigo club (*Triticum compactum*) y las segundas son el resultado de la molienda del trigo duro (*Triticum durum*).

El endospermo del trigo duro muestra mayor resistencia al aplastamiento durante el proceso de molienda. Las diferencias entre el trigo duro y los demás se atribuían anteriormente solo a la mayor proporción de proteínas y almidón en el duro. No obstante, investigaciones recientes indican que la dureza del trigo duro resulta de la mayor continuidad de la matriz de las proteínas dentro de las células y los enlaces más firmes de los gránulos de almidón con dicha matriz (Charley, 1990). El trigo duro es preferido para pastas por tener un alto nivel de proteínas, mayoritariamente gluten que favorece a la firmeza de la pasta; también posee alto contenido de beta-carotenos, que favorecen el color amarillento característico de la pasta; así como también presenta un bajo contenido de lipoxigenasas, la cual favorece a que los pigmentos no se degraden. (Casp, 2014)

Composición del grano de trigo.- “en cuanto a la composición de los diferentes elementos que constituyen un grano de trigo, no es la misma siempre ya que dependen de algunos factores como son: la región, año de cosecha y condiciones de cultivo” (Combelli, 1952). A continuación se presenta la tabla la composición del grano de trigo según Millot:

Tabla 1. Composición aproximada del grano de trigo

Elementos	Composición
Agua	12% - 16%
Almidón	55% - 67%
Celulosa	1,3% - 1,9%
Dextrina	5% - 9%
Glutina	10% - 21%
Materias Grasas	1% - 2,8%
Sales Minerales	1,4% - 2%

Fuente: (Combelli, 1952)

Así mismo los macronutrientes y sus componentes presentes en el grano de trigo se detallan a continuación:

Dentro de los hidratos de carbono se halla el almidón que es el componente más importante, constituyendo aproximadamente el 60% del grano del trigo. Es insoluble en agua fría, pero cuando se calienta con agua, este la absorbe y se hincha; dicho proceso se

conoce con el nombre de gelatinización. El almidón está compuesto por dos componentes principales que son: la amilosa y la amilopectina. (Kent, 1971)

Las proteínas son las que confieren principalmente la capacidad de esponjamiento a la harina de trigo, además del almidón y los lípidos. Las gluteninas y gliadinas forman el gluten que, junto con los lípidos y el agua, son responsables de las propiedades viscoelasticidad y de cohesividad de la masa (Juárez, Bárcenas, & Hernández, 2014). La glutenina asigna a la masa sus propiedades elásticas mientras que las gliadinas son fluidas y esponjosas. Al trabajar con partículas hidratadas de harina se desarrolla el gluten y es por este que la masa tiene la capacidad de retener gases y expandirse a medida que se acumulan. (Charley, 1990)

Los lípidos constituyen solo una fracción del peso de la harina. La mayor parte de los lípidos de la harina pueden ser removidos por un disolvente no polar. Pero una vez que la harina se convierte en una pasta, gran parte de la grasa ya no puede ser extraída. (Charley, 1990)

1.1.2 Sémola de trigo durum

Es un producto granular de color amarillo oscuro y estructura vítrea, procedente de la molienda del endospermo del grano de trigo duro, es la materia prima ideal para la fabricación de pasta. Un proceso de molienda perfecto separará el endospermo en forma de sémola sin la contaminación con salvado o el germen. En la práctica, esto no ocurre y el nivel de contaminación en la sémola se puede determinar mediante el contenido de ceniza que presenta. (Mora, 2012)

1.1.3 Agua

El agua se considera necesaria en la elaboración de pastas alimenticias, se necesita para el amasado y además para manipulaciones secundarias, la misma que ha de ser de excelente potabilidad para las etapas dentro del proceso de fabricación de pastas alimenticias; no debe emplearse aguas duras, pues a más de provocar un desgaste en los moldes, las pastas resultantes tienen un sabor poco agradable y hasta crujen al ser masticadas. En ningún caso



las aguas deben estar cargadas de materias orgánicas, ya que pueden originar fermentaciones prematuras con putrefacciones desagradables en la pasta, obteniendo como resultado un producto final no conforme. (Combelli, 1952)

1.1.4 Otros

Dentro de este grupo se encuentran aquellas materias primas que mejoran las propiedades de la masa pero que no son consideradas indispensables en su elaboración, una de estas son los agentes oxidantes o maduradores, se adicionan a la harina para que la masa tenga las propiedades reológicas deseadas. Los agentes oxidantes permitidos en la harina incluyen peróxidos de acetona, peróxidos de benzoilo, cloro (en la harina para pasteles), dióxido de cloro, cloruro de nitrosilo y óxidos de nitrógeno. Todos los mencionados blanquean los pigmentos de la harina. Las harinas así tratadas se etiquetan como “blanqueadas”, la cual se diferencia del color crema proveniente del endospermo. La harina enriquecida se encuentra marcada y la inclusión de cuatro nutrientes (tiamina, riboflavina, niacina y hierro) es obligatoria. Es opcional la adición de calcio y vitamina D. (Charley, 1990)

1.2 Pastas Alimenticias

La pasta es un alimento simple, sobre todo cuando se elabora en la cocina o en el restaurante y se sirve después de la cocción, con un corto tiempo de preparación. El arte de la pasta va desde la fácil preparación en la cocina hasta las sofisticadas técnicas industriales. El resultado de la sofisticación es un producto simple con pocos ingredientes, como el que se elabora artesanalmente, pero las diferentes técnicas son aplicadas para producir un amplio rango de formas y tamaños, además de mejorar la estabilidad con un producto seco con humedades del 11% al 12% lo que aumenta su vida útil (Mora, 2012). Sin embargo, los requerimientos de la normativa ecuatoriana para humedad de pastas secas es de 14% como valor máximo permitido (NTE INEN 1375, 2014).



1.2.1 Definición

Con el nombre de pastas alimenticias o fideos secos se designa a los productos no fermentados, obtenidos por la mezcla de agua potable con harina de trigo o sémola de trigo duro o mezcla de ambas, sometidos a un proceso de laminación y/o extrusión y a un posterior proceso de secado. Esta es la definición que marca el Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, en su segunda revisión 2014-12. NTE INEN 1375. PASTAS ALIMENTICIAS O FIDEOS SECOS. REQUISITOS.

1.2.2 Orígenes de la pasta

Son diversas las teorías que se han originado en torno al origen de la pasta. Se sospecha que si los griegos y los romanos no registran familiaridad alguna con la pasta, esta debe haber surgido en alguna otra civilización. Según Marco Polo, proviene de China; otros historiadores, sitúan su origen en el Medio Oriente, donde lo árabes pudieron haberla inventado buscando alimentos que se conservaran y mantuvieran en buen estado durante las jornadas nómadas. (Mora, 2012)

Varios historiadores coinciden en que la pasta fue mencionada por primera vez oficialmente en un documento medieval italiano. Después de este dato se conoce que en los siglos XVI y XVII la pasta comenzó a ser producida en mayores escalas gracias al crecimiento de la población en ciudades como Génova, Savona, Nápoles, Palermo y Roma, donde ya se conocían los fideos, macarrones y vermicellis. Por esta época los fabricantes de pasta en Italia ya se habían organizado en asociaciones, donde se habían determinado reglas para el comercio y preparaciones, entre ellas, que una pasta de buena calidad sólo se podía elaborar a partir de trigo duro. Hacia el siglo XIX, la elaboración de pasta se convirtió en una especialidad napolitana. A pesar de sus orígenes sicilianos, fue en Nápoles donde la producción se industrializó y se desarrolló su comercialización. En efecto, surge el secado como una forma de conservación de la pasta. La producción de pasta seca se concentró en el sur de Italia y las costas de Liguria, debido a que el microclima favorece el secado del producto. El apareamiento de fábricas se dio a principios del siglo XX con los primeros motores eléctricos. (Mora, 2012)



1.2.3 Características de la harina para pastas alimenticias

En las harinas utilizadas en pastas alimenticias es necesario realizar un análisis con la finalidad de comprobar su pureza y estado de conservación desde el punto de vista higiénico y de su utilización. Estos análisis pueden ser:

- Determinar la naturaleza de la harina, con el fin de comprobar que se trata de harina de trigo duro o de sémola de trigo duro y verificar que no exista mezclas con otros tipos que no sean estas.
- Determinar si existe adulteración en la harina. Según la norma INEN 1375:2014 se determina: contenido de humedad (máximo 14%), cenizas (máximo 1,30%), proteína (mínimo 10,5%), acidez expresada como ácido sulfúrico (máximo 0,45%) y la determinación de semillas extrañas, polvo de madera, sustancias minerales extrañas y el blanqueo.
- Determinar de qué productos de la molienda viene la harina. Si se trata de harinas blandas, harinas para pastas secas o de mezclas. Para esto se realiza análisis organoléptico o el ensayo del cernido.

Cuando la harina utilizada en el proceso de elaboración de pastas alimenticias, proviene de otra industria molinera ajena a la empresa tienen que realizarse los análisis mencionados. Las harinas de buena calidad para las industrias de pastas alimenticias deben provenir de granos de trigo de alto contenido proteico, para de esta manera obtener masas con buena plasticidad. (Mariño & Arias, 1981)

1.2.4 Clasificación

Según (Mora, 2012), las pastas alimenticias pueden clasificarse, de acuerdo al contenido de humedad en base húmeda (% H_2O) final en el producto:

- Pasta fresca (% $H_2O \geq 24\%$)
- Pasta estabilizada ($24\% > \% H_2O \geq 20\%$)
- Pasta seca (% $H_2O \leq 12,5\%$).

Por otro lado según el Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, en su segunda revisión 2014-12. NTE INEN 1375. PASTAS ALIMENTICIAS O FIDEOS SECOS. REQUISITOS clasifica a las pastas alimenticias se la siguiente manera:

Por su forma:

- a) Pastas alimenticias o fideos largos. Spaghetti, tallarines fettuccine, cabello de ángel y otros.
- b) Pastas alimenticias o fideos cortos. Lazos, codito, caracoles, conchitas, tornillo, macarrón, letras, números, animalitos, penne rigate, fusilli y otros.
- c) Pastas alimenticias o fideos enroscados. Son las pastas alimenticias o fideos largos que se presentan en forma de madejas, nidos, espiral y otros.
- d) Pastas rellenas. Ravioli, cappelletti, tortellini y otros.
- e) Pastas en láminas. Lasañas, canelones y otros.

Por su composición:

- a) Pastas alimenticias o fideos de sémola de trigo duro.
- b) Pastas alimenticias o fideos de harina de trigo.
- c) Pastas alimenticias o fideos de la mezcla de sémola de trigo duro y harina de trigo.
- d) Pastas alimenticias o fideos de sémola integral de trigo duro o harina integral de trigo.
- e) Pastas alimenticias o fideos compuestos.
- f) Pastas alimenticias o fideos rellenos

1.2.5 Criterios de calidad de la pasta

Los criterios de calidad dependen del tipo de pasta. Pero de una manera general para sus características organolépticas estas deben tener color ligeramente amarillento y uniforme, deben ser semitransparentes, deben ser duras, deben tener una fractura casi vítrea; el olor y el sabor son especiales de acuerdo al tipo. En cuanto a lo que se refieren a pastas secas estas debe tener características de sequedad, con el almidón completamente hidratado y cristalizado. Otro criterio de calidad para este tipo de pasta se rige bajo la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1375, segunda revisión 2014-12, la cual se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Requisitos para pastas alimenticias o fideos secos procedentes de la mezcla de sémola de trigo duro y harina de trigo

Parámetro	Mínimo	Máximo
Humedad	-	14,0 %
Cenizas	-	0,98%
Proteína	10,5%	-
Acidez, expresada como ácido sulfúrico	-	0,45%

Fuente: (NTE INEN 1375, 2014)

1.2.6 Valor nutritivo de la pasta

La pasta es un alimento de alto valor energético, la cual se encuentra en la dieta habitual de la población. Y es considerada como un alimento saludable ya que posee una cantidad relativamente baja de grasa, alto en carbohidratos y con un buen contenido de proteína. Pues así también, el valor nutritivo de la pasta dependerá de la calidad de las sémolas o harinas con las que ha sido procesada. Cabe recalcar que el valor nutritivo va a variar de acuerdo al tipo de pasta que se trate, es así que las pastas compuestas o rellenas presentan una composición y un valor nutricional muy variables de acuerdo con los ingredientes utilizados en su elaboración. Por el contrario, las pastas alimenticias simples, que son las más consumidas, se elabora con sémola de trigo duro, agua y sal, su valor energético es de aproximadamente 350 kcal/100g; en la tabla 3 se muestra el aporte nutricional para 100g de este tipo de pasta. El mejoramiento nutricional de la pasta implica principalmente un aumento del contenido de proteína y fibra, y la fortificación con vitaminas y minerales, las cuales se pierden en la molienda (Mora, 2012).

Las pastas alimenticias se recomiendan para aquellas personas que requieren un mayor aporte energético como niños, adolescentes, personas con profesiones de gran actividad o desgaste físico y en determinadas enfermedades y periodos de convalecencia, en los que se necesita aumentar el aporte calórico. Son también un alimento de preferencia para personas mayores y especialmente para las que poseen dificultades de deglución. Las pastas

contienen gluten, por lo que su consumo está totalmente contraindicado para personas que padecen intolerancia al gluten (celíacos). (Gil, 2010)

Tabla 3. Aporte nutricional de pastas simples para 100g de alimento

Descripción	Aportes
Energía (kcal)	374
Proteínas (g)	15
Grasas (g)	1,1
Hidratos de carbono(g)	75
Fosforo (mg)	258
Hierro (mg)	3,6
Magnesio (mg)	143
Zinc (µg)	3,1
Sodio (mg)	73
Vitamina B1 (mg)	7
Vitamina B1 (mg)	0,5
Vitamina B2 (mg)	9
Vitamina B3 (mg)	5,1
Vitamina B6 (mg)	0,2
Ácido fólico (µg)	4
Azucares (g)	2,60
Fibra(g)	5

Fuente: (Infoalimentacion .com)

1.2.7 Descripción general de producción de pastas secas

El inicio de este proceso comienza con la transformación de la harina en una pasta con forma definida, lo cual se logra mediante una apropiada humectación, mezclado/amasado y extrusión. La pasta así formada presenta una red proteica que encapsula los gránulos de almidón y esta estructura se moldea en un solo cuerpo con un mínimo de grietas e imperfecciones (Mora, 2012). Para luego la pasta así formada se transporte a la etapa de

secado la que va a determinar en gran parte la calidad del producto y el tiempo de conservación de la misma.

La descripción tecnológica de producción de pasta se detalla en la figura 2, en la cual se toma como punto de partida la recepción de la sémola, y/o harina de trigo, hasta el almacenado del producto final. Para la recepción de materia prima es importante analizar la calidad de la misma, para asegurarse de que se encuentra en condiciones idóneas para su procesamiento, evitando alguna adulteración o contaminación, esto es importante para garantizar la inocuidad y la calidad del producto final (Pepe, 2012). Así también está el tamizado en el cual una vez aprobada la harina o sémola, esta es cernida con el objeto de separar las impurezas o cualquier otro objeto extraño que pueden encontrarse en ella (Benavides, 2002).

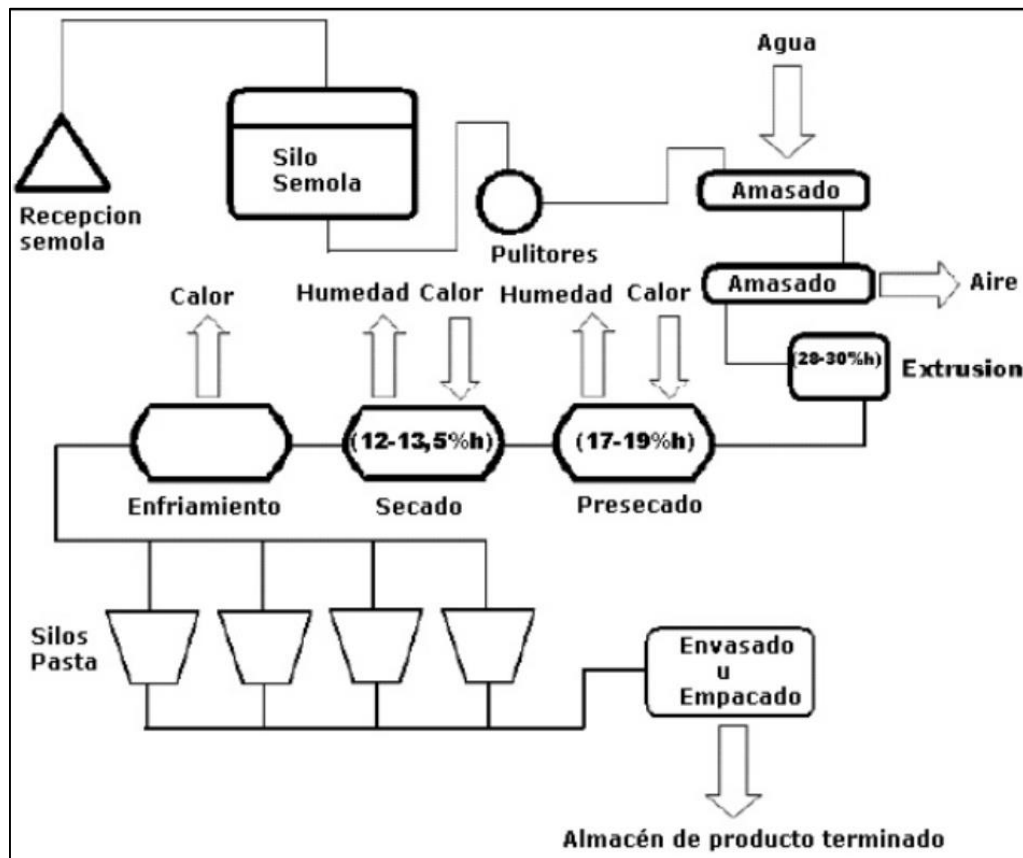


Figura 2. Esquema tecnológico de producción de pastas

(Cuaila, 2014)

A continuación se detalla de forma general las etapas en la elaboración de pastas alimenticias:

Dosificación: en esta etapa se hace una premezcla de las principales materias primas que son la harina de trigo, sémola o una combinación de ambas y el agua. La humedad inicial de la masa es importante ya que de ella dependerán las propiedades plástico-viscosas de la masa (Mariño y Arias, 1981). Por ello se adiciona agua en una proporción entre 18% y 25% de las materias primas secas, para obtener una masa fresca que contiene una humedad promedio entre 30% y 32%. (Mora, 2012)

Amasado: es aquí donde se incorporan todas las materias primas y se mezcla durante un tiempo aproximado de 10 minutos. En este proceso, el gluten se desarrolla y absorbe el 90% del agua, provocando un esponjamiento de la masa, logrando de esta manera una masa homogénea y firme (Gil, 2010). El objetivo de esta etapa no es desarrollar completamente la red de gluten, sino hidratar eficazmente las partículas de sémola. La operación de amasado debe realizarse en equipos a vacío, es decir que la masa este en ausencia de aire, por dos motivos: por un lado para evitar la aparición de burbujas de aire en la pasta, que no son eliminadas en procesos posteriores, y de realizarse un secado en estas condiciones daría a la pasta un aspecto opaco y crearían puntos de debilidad, por otra parte la presencia de oxígeno potencia la acción de las lipoxigenasas, haciendo que se degraden las sustancias colorantes, resultando que la pasta pierda su color típico amarillento. (Casp, 2014)

Extrusión: en esta etapa la mezcla se somete a un trabajo mecánico y a una presión continua, lo que finaliza desarrollando la red de gluten. Es importante que en esta etapa se intente que la temperatura no alcance los 50°C para no dañar la estructura proteica de la pasta, ya que de ocurrir esto influirían en su cocción. Posteriormente la masa sale por una boquilla, donde se produce una expansión y el producto toma la forma del molde de la boquilla de salida. Actualmente, existen un sin número de formas de pastas alimenticias, aproximadamente existen en el mercado 250 formatos de pastas (Gil, 2010). Para el caso de pastas laminadas el proceso de extrusión se sustituye por el de laminación y troquelado. Al



final de esta etapa la masa debe contar con una humedad en base húmeda entre 28%-30% (Cuaila, 2014).

Secado: como etapa previa está el presecado en la cual el producto tiene que salir con una humedad en base húmeda entre 17%-19% (Cuaila, 2014). El secado propiamente dicho es la etapa más compleja y uno de los puntos críticos en la elaboración de las pastas alimenticias. El objetivo del secado es producir una pasta fuerte y estable, que tenga larga vida de estante. Razón por la cual es necesario eliminar parcialmente el contenido de agua presente en ella; es así que la humedad es removida de la superficie de la pasta por una corriente de aire caliente, creando un gradiente de humedad dentro de la pasta. Las grietas o líneas de fractura que se generan con un secado inadecuado pueden causar el quiebre del producto seco durante el empaque y el almacenamiento. Debido a esto, la pasta puede desintegrarse y deteriorar su apariencia durante la cocción, y ser rechazada por el consumidor. (Mora, 2012)

Enfriado: el producto se enfría hasta alcanzar la temperatura ambiente, por lo general para llegar a esto la pasta se transporta a través de unas cámaras de secado con el fin de que la pasta alcance la humedad final determinada y con el propósito que la humedad se distribuya uniformemente en todo el producto secado. (Mora, 2012)

Pesado y envasado: El producto final se pesa y se empaca en bolsas de celofán, polietileno, polivinilcloruro (PVC), o en cajas de cartón. El empaque se diseña para mantener el producto libre de contaminación y protegerlo del daño que pueda darse por el transporte y almacenamiento, además de que el empaque es la forma de atracción visual que el consumidor va a tener y de la cual se va a diferenciar de sus competidores. (Mora, 2012)

Almacenado: El producto se almacena en lugares secos, libres de plagas, bien ventilados y sobre lugares que garanticen una buena circulación de aire, con un acopio máximo de 1 metro de altura. (Pepe, 2012)



1.3 Secado

1.3.1 Generalidades

El secado es uno de los métodos más antiguos utilizados por el hombre para la conservación de los alimentos y uno de los más ampliamente usados en la industria alimentaria. El secado natural de los alimentos, el cual se realizaba al inicio de los tiempos por el sol, daba como resultado productos concentrados de calidad durable, a pesar de ello con el transcurso del tiempo en las civilizaciones el número de habitantes ha presentado un crecimiento notable y con ello han aumentado sus necesidades, siendo esta una de las razones por las que hoy en día no se pueda depender de los elementos (agua, aire, sol) para cubrir estas necesidades, ya que son impredecibles. Otro método de secado que surge en el transcurso del tiempo es el secado artificial, mediante el uso del calor de un fuego para secar alimentos, el cual fue descubierto independientemente por muchos hombres en el Nuevo y Viejo Mundo. Pero no fue sino hasta 1975 que se ideó el cuarto de deshidratación de aire caliente, invento realizado por Masson y Challet en Francia, los cuales inventaron un deshidratador de hortalizas que consistía de un flujo de aire caliente (105°F) sobre tajadas delgadas de hortalizas; de esta manera la deshidratación en la industria alimenticia ha tomado el significado de aquel proceso de secado artificial. (Desrosier, 2004)

Ventajas de secar los alimentos:

- Los alimentos secos y deshidratados son más concentrados.
- Aparte del efecto conservante, también se reduce el peso y el volumen del alimento.
- Menos costosos de producción.
- El trabajo requerido es mínimo.
- Aumenta la eficacia de los procesos de transporte y almacenaje.

Desventajas de la eliminación de agua en los alimentos. Según (Casp, 2014) menciona las siguientes:



- Riesgo de alteración en la calidad nutricional del producto.
- Riesgo de alteración en las propiedades organolépticas del producto.
- Existe técnicas de eliminación de agua unas menos costosas que otras, pero las que alteran la calidad del producto en mayor parte son las técnicas menos costosas.

Existen fuerzas que el hombre puede controlar en un alimento y otras que serán independientes de él. Es así que el hombre puede controlar las fuerzas químicas en el alimento deshidratado con el empaque y ciertos aditivos químicos. En tanto que las fuerzas biológicas son controladas reduciendo el contenido de agua libre por calentamiento, aumentando de esta manera las presiones osmóticas, para así tener un control sobre el crecimiento microbiano. Si bien, el diez por ciento de la población de la Tierra consume usualmente alimentos conservados como componentes importantes en sus dietas, el gran crecimiento de la industria de la conservación de alimentos resulta formidable y es reconocido claramente en la actualidad. (Desrosier, 2004)

1.3.2 Agua

Bandui (2013) menciona que: “el agua, los hidratos de carbono, las proteínas y los lípidos, son los cuatro macrocomponentes que presentan todos los alimentos que el hombre consume. Y es primordial para cualquier forma de vida biológicamente activa.”

Propiedades del agua.- su molécula está compuesta por dos átomos de hidrogeno unidos en forma covalente a uno de oxígeno, es altamente polar, no es lineal y origina estructuras tridimensionales debido a la hibridación de las orbitas moleculares s y p del oxígeno. La molécula del agua no tiene una carga específica, pero si un dipolo eléctrico potente que le permite crear puentes de hidrogeno estables con otras moléculas semejantes o desiguales, pero de naturaleza polar. Tanto el número de estas uniones como la longitud del puente de hidrogeno entre moléculas vecinas se ve afectado por la temperatura. Cabe señalar que los puentes de hidrógeno no sólo incitan en el agua, sino también en cualquier sustancia que tenga características polares, como las proteínas y los hidratos de carbono. Mediante este mecanismo, los polímeros y algunos compuestos de bajo peso molecular retienen agua y le

conceden a los alimentos propiedades reológicas muy especiales. Con base en esto, el agua presente en los tejidos animal y vegetal pueda ser retenida (hidratación), lo que se manifiesta en su frescura, como así también puede ser eliminada (deshidratación) pudiéndose evidenciar en su crujencia. (Badui, 2013)

Tipos de agua.- Dentro de la estructura propia del alimento se puede definir dos tipos de agua; agua libre y agua ligada.

Agua libre o no ligada es el agua del alimento que se comporta como agua pura, y es la que se elimina durante un periodo de velocidad constante de secado o por una evaporación, debido a que no se encuentra fijamente enlazada a la estructura del alimento y es la única disponible para el crecimiento de microorganismos o para participar en las transformaciones hidrolíticas, químicas y enzimáticas.

Agua ligada es el agua que está unida a la superficie sólida y no puede participar en los procesos mencionados anteriormente. Dentro del agua ligada podemos encontrar el agua absorbida que está asociada físicamente como una monocapa sobre la superficie de los constituyentes de los alimentos y el agua combinada que está unida en alguna forma química como agua de cristalización o como hidratos en el alimento. (Álvarez, 2006)

En el proceso de deshidratación las primeras moléculas de agua en ser eliminadas son aquellas que se hallan menos ligadas a la estructura del alimento. El agua libre se comporta como el agua pura, es por esto que demanda relativamente poca energía para ser evaporada, a diferencia del agua ligada que resulta más difícil su evaporación y por ende necesita mayor energía. Por lo tanto la cantidad de energía necesaria para evaporar la misma cantidad de agua aumenta durante el secado, por lo cual el último gramo de agua evaporada necesita más energía que el primero. (Casp, 2014)

1.3.3 Actividad del agua

El agua presente en los alimentos interviene de diversas maneras, como puede ser: en la reología, la textura, la estabilidad microbiana y las reacciones químicas y enzimáticas.

Razón por la cual el agua libre es la responsable de esta influencia ya que el agua ligada no actúa debido a que no está disponible o permanece inmóvil, de acuerdo con esto es el agua libre la que da origen al término de actividad del agua (a_w) y es con base en este parámetro, y no el contenido total de agua, que se puede prever la estabilidad y la vida útil de un producto (Badui, 2013). La actividad de agua de un producto se define por la relación entre la presión parcial de vapor de agua del producto (p) y la presión parcial de vapor del agua pura (p_o), a la misma temperatura (t).

$$a_w = \left(\frac{p}{p_o} \right)_t$$

Así la a_w es la relación entre dos magnitudes con las mismas unidades y forma por tanto una medida relativa con respecto a un estado (agua pura). La a_w del agua pura se considera 1, la de cualquier otro producto será menor a este valor. No hay que confundir la humedad relativa ($\%H_R$) con la a_w de un producto. (Jeantet, Croguennec, Schuck, & Brulé, 2013)

Sin embargo existe una equivalencia entre la a_w de una solución o de un alimento y la presión parcial relativa de vapor de agua en una atmósfera cercana al equilibrio. La $\%H_R$ en equilibrio y la a_w son pues magnitudes físicas directamente proporcionales relacionadas por la siguiente ecuación:

$$\%H_R = a_w * 100$$

Métodos para determinar la a_w .- una de las maneras de determinar la a_w de los alimentos es colocar el producto en equilibrio con la atmósfera en un microambiente y después medir las características manométricas o higrométricas del aire en equilibrio con el producto. Además existe otros métodos tales como la medida directa de la presión de vapor con la ayuda de un manómetro o la medida de la temperatura de rocío o de la humedad relativa del aire en equilibrio con el producto. (Jeantet et al., 2013)

1.3.4 Isotermas de Sorción

“La actividad del agua es una propiedad intrínseca que se relaciona de manera no lineal con el contenido de humedad mediante las curvas o isotermas de adsorción y desorción” (Bandui, 2013, p.18). Es posible establecer una relación entre la a_w y el contenido de agua del producto a medir, humedad en base seca (m), a una temperatura dada. Esta relación constituye la isoterma de sorción (adsorción o desorción), que tiene forma sigmoidal y que refleja la capacidad de adsorción de agua y también de retener agua de los productos. Datos que resultan de importancia en la tecnología alimentaria. La determinación de estas curvas radica generalmente en colocar una muestra del producto en una atmósfera con una $\%H_R$ conocida hasta el equilibrio y medir el contenido en agua (m) del producto por pesada (Jeantet et al., 2013). La figura 3 muestra que para un contenido de agua determinado, la actividad del agua es menor durante la desorción que en la adsorción o que para una actividad acuosa determinada el contenido de agua es mayor en el secado que en la hidratación. Así mismo se observa que estos procesos opuestos no son reversibles por un camino común, fenómeno que recibe el nombre genérico de histéresis (Badui, 2013). Según Jeantet et al., (2013, p22) definen a la histéresis como: “el efecto que para una misma cantidad de agua del producto, el equilibrio tras la desorción se establece en cada punto a un valor de a_w menor que en la desorción.”

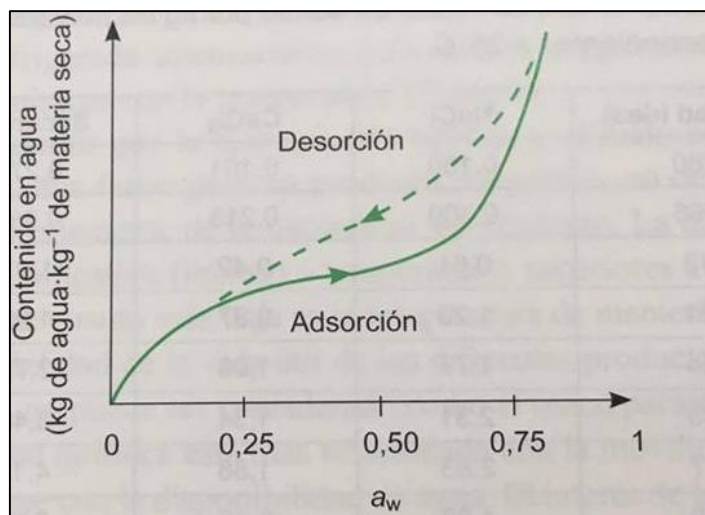


Figura 3. Fotografía de las isotermas de adsorción y desorción de agua

(Jeantet, Croguennec, Schuck, & Brulé, 2013)

Cabe señalar que la histéresis se manifiesta fundamentalmente en las regiones intermedias de las isothermas, donde el agua se encuentra unida débilmente. La explicación de este fenómeno está relacionado con la condensación del agua en los poros de los tejidos y responde a la relación, definida por la ecuación de Kelvin entre la presión parcial de vapor de agua y , por otro lado el ángulo de contacto (dependiente de las tensiones superficiales), y además, el diámetro del poro. En teoría, la a_w no depende de la temperatura, sino únicamente de la composición de la solución, en tanto que las isothermas de sorción varían en función de la temperatura y del tipo de alimento, y son el resultado del comportamiento de los diversos constituyentes químicos del alimento con respecto al agua (Figura 4). Así, las proteínas y almidones retienen más agua en la región inferior de las isothermas que los lípidos y sustancias cristalinas (Jeantet et al., 2013). La isoterma de adsorción representa la cinética con la que un alimento adsorbe humedad y se hidrata y es importante saber de ella, ya que refleja el comportamiento de los deshidratados almacenados en atmosferas húmedas (higroscopicidad). En tanto que la desorción equivale al proceso de deshidratación y refleja la forma como se elimina agua. En base a estas dos curvas se diseñan sistemas de almacenamiento, de secado, etc. (Badui, 2013)

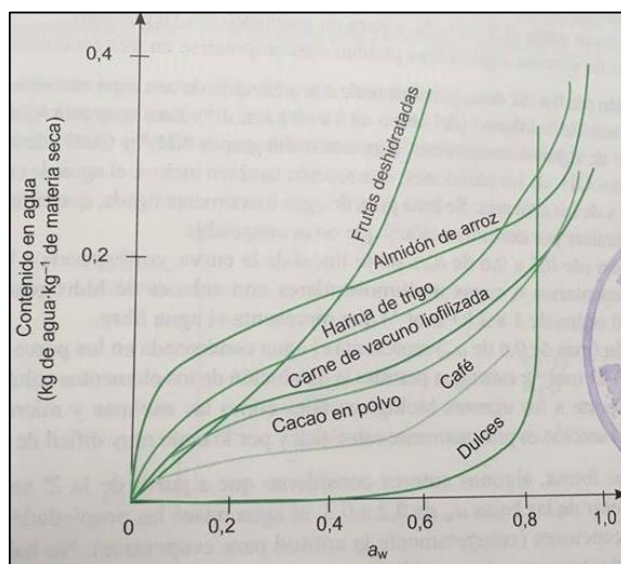


Figura 4. Fotografía de las isothermas de adsorción de agua de varios alimentos

(Jeantet, Croguennec, Schuck, & Brulé, 2013)



1.3.5 Parámetros de Secado

Dentro del secado es importante conocer ciertos parámetros que ayudan en su cálculo, siendo estos los siguientes:

Contenido de humedad de un alimento.- la humedad indica la cantidad de agua presente en una muestra, la cual puede expresarse en base seca o base húmeda, y se expresan como fracción en peso.

Humedad en base seca (m).- es la cantidad de agua por unidad de masa de sólido seco en la muestra. Se expresa de la siguiente manera:

$$m = \frac{\text{masa de agua}}{\text{masa de sólido seco}}$$

Humedad en base húmeda (%H₂O).- es la cantidad de agua por unidad de masa de muestra húmeda.

$$\%H_2O = \frac{\text{masa de agua}}{\text{masa de muestra húmeda}} * 100$$

Se puede hacer una relación entre m y %H₂O, con la cual resulta la siguiente ecuación que se utiliza para calcular %H₂O cuando se conoce m y viceversa.

$$m = \frac{\%H_2O}{100 - \%H_2O} * 100$$

En las ecuaciones anteriores la humedad se encuentra expresada como fracción en peso. Es importante señalar que cuando la humedad se expresa en base seca puede alcanzar valores superiores al 100 % si la cantidad de agua presente en la muestra es mayor a la cantidad de sólido seco presente. (Singh & Heldman, 2009)

1.3.6 Psicrometría

Hace referencia al contenido de humedad del aire, estudia sus propiedades termodinámicas y el efecto de la humedad atmosférica sobre los materiales.

Humedad del aire (H).- la humedad de una mezcla de aire – vapor de agua, se define como los kg de vapor de agua que hay en un kg de aire seco. Si P es la presión total del aire (a una atmósfera) y p_A la presión de vapor del agua incluida en el aire, se tiene la siguiente ecuación:

$$H = \frac{18}{29} \frac{p_A}{P - p_A} \left(\frac{kg \text{ agua}}{kg \text{ aire seco}} \right)$$

Humedad de saturación.- es la máxima humedad originada por la presión de saturación a una temperatura dada, se expresa de la siguiente manera:

$$H_s = \frac{18}{29} \frac{p_{AS}}{P - p_{AS}} \left(\frac{kg \text{ agua}}{kg \text{ aire seco}} \right)$$

Porcentaje de humedad.- se enuncia en la siguiente ecuación:

$$H_p = \frac{H}{H_s} * 100$$

Porcentaje de humedad relativa.- es un término utilizado para expresar la cantidad de humedad en una muestra dada de aire, en comparación con la cantidad de humedad que el aire tendría, estando totalmente saturado y a la misma temperatura de la muestra. Se recomienda calcular con valores de presión de vapor, ya que es la que determina la velocidad de la evaporación, y por lo tanto, en el acondicionamiento de aire es lo que directamente afecta el confort, la conservación de alimentos y la mayoría de los demás procesos (Wikispaces, 2017). El parámetro de $\%H_R$ es la razón entre la presión parcial de vapor de agua en el aire (p_a) y la presión parcial del vapor saturado de agua (p_{vs}) a la misma temperatura.



$$\%H_R = \frac{p_a}{p_{vs}} * 100$$

Temperatura de bulbo seco (t_d).- la temperatura de la mezcla aire - vapor de agua que se lee en un termómetro se designa temperatura de bulbo seco, cuando se habla de temperatura del aire se hace referencia a la temperatura de bulbo seco.

Punto de rocío.- “es aquella temperatura en la que el aire de cierta humedad empieza a condensar agua cuando se enfría a presión constante.” (Orrego, 2003)

Temperatura de bulbo húmedo (t_w).- cuando se hace circular aire de temperatura (de bulbo seco) y humedad sobre una superficie de agua, ésta última alcanza una temperatura de equilibrio llamada de bulbo húmedo. En este caso se presume que todo el calor de vaporización del agua lo suministra el aire; sin embargo, ni este hecho, ni la masa de agua que se evapora cambian las propiedades del aire que circula (Orrego, 2013, p. 177).

1.4 Procesos del secado

En el proceso de secado se deben tener en cuenta los diversos procesos y mecanismos que intervienen en el alimento, siendo importantes los que se mencionan a continuación:

1.4.1 Difusión de la humedad

Cantidad importante del agua presente en los alimentos se elimina mediante la difusión, ya sea en fase líquida y/o vapor, a través de su estructura interior. Lo que sucede en algún punto dentro del alimento es que al movimiento de agua líquida le va a continuar su evaporación, es por ello que el flujo del agua es una función del gradiente de la presión de vapor, de la difusividad del vapor en el aire, de la distancia a recorrer y de la temperatura. Asimismo ya que para evaporar el agua es necesaria la presencia de calor, el proceso de

deshidratación de alimentos supone un transporte simultáneo de materia y calor. (Singh & Heldman, 2009)

1.4.2 Curvas de velocidad de Secado

Las etapas en las que ocurre el secado son diferenciadas unas de otras por su velocidad de secado, como se aprecia en la Figura 5 la etapa inicial de la sección AB sucede con un ligero calentamiento en el producto y en el agua, hasta alcanzar la temperatura de bulbo húmedo de aire de secado. Este período es muy corto en comparación con el tiempo total de secado. Luego ocurre una disminución en el contenido de agua esto se observa en la sección BC y la velocidad en esta etapa es constante. La evaporación tiene lugar en la superficie del producto, a temperatura constante, siendo esta la de bulbo húmedo del aire. En este período el principal mecanismo de transporte de masa es el flujo capilar de agua líquida. En gran parte de los casos esta velocidad de secado constante finalizará al alcanzarse la humedad crítica, la cual se identifica claramente por el cambio brusco de la pendiente en la curva de velocidad de secado. Posterior a esta etapa existirán uno o varios periodos de velocidad decreciente como se ve en la sección CD Y DE, en donde la temperatura se incrementa desde la de bulbo húmedo hasta la del fluido calefactor. (Singh & Heldman, 2009)

En la primera zona de velocidad decreciente el “frente de secado”, el cual se ubicaba en la superficie del producto, se desplaza hasta el interior del alimento, lo que causa que la transferencia de masa se convierta en el factor limitante ya que el agua ligada migra en forma de vapor y la distancia a recorrer por el frente de vapor es cada vez más grande. En este periodo el mecanismo de transporte de masa que predomina es la difusión de vapor. El último periodo de velocidad decreciente (periodo de velocidad final) solo se da para los materiales higroscópicos. En el alimento solo queda agua ligada, la cual se evacua muy lentamente esta fase concluye cuando el producto alcanza su humedad de equilibrio, que depende de las condiciones de secado. (Casp, 2014)

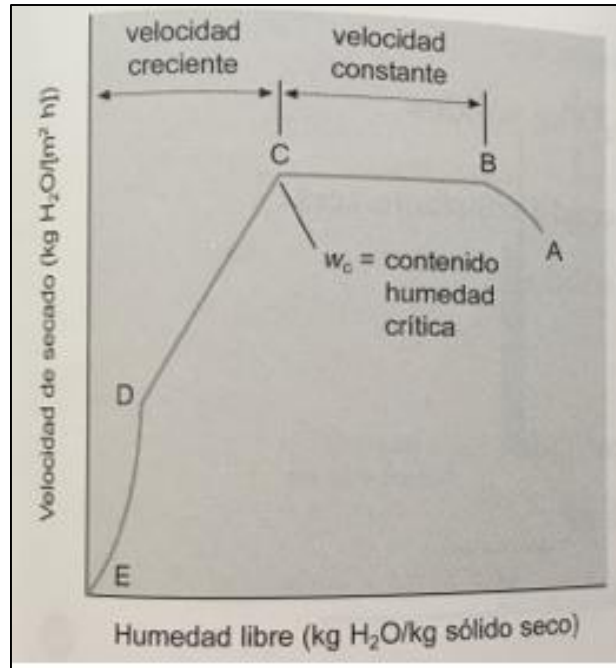


Figura 5. Fotografía de los períodos de secado a velocidad constante y decreciente
(Singh & Heldman, 2009)

1.4.3 Transmisión de calor y transferencia de masa

Como ya se ha mencionada anteriormente el secado de un alimento supone el transporte simultaneo de materia y calor. La transmisión de calor tiene lugar en el interior del alimento y está relacionada con el gradiente de temperatura existente entre la superficie del alimento y la superficie del agua en el interior del alimento. Si se proporciona una cantidad suficiente de energía, el agua dentro del producto se va a evaporar y el vapor generado aquí se trasladará desde la superficie de la capa húmeda en el interior del producto hasta la superficie de éste. El gradiente de presión de vapor existente entre la superficie del agua en el interior del alimento y en el aire exterior al alimento es el que provoca la difusión del vapor de agua hacia la superficie de éste. Estos flujos de materia y calor que se dan en el interior del alimento tienen lugar a nivel molecular, donde el calor transmitido depende de la conductividad térmica del alimento y el flujo de agua será proporcional a la difusión molecular del vapor de agua en el aire.

De la misma manera el transporte de calor y materia se da simultáneamente en la superficie del producto, la cual es controlada por mecanismos convectivos. En la superficie del alimento el transporte de vapor hacia el aire exterior es función de la presión de vapor mientras que la transmisión de calor desde el aire hacia el alimento obedece del gradiente de temperatura (Singh & Heldman, 2009). Por lo tanto, (Casp, 2014) indica que en el proceso de secado se producen 4 tipos de transporte, que son:

- Transmisión de calor desde la fuente de calor hasta la superficie del producto.- este transporte de calor puede llevarse a cabo mediante conducción, convección y radiación.
- Transmisión de calor desde la interfase sólido-gas hasta el interior del sólido.- en este caso la transmisión de calor solo se puede dar por conducción, en un régimen donde las condiciones en cualquier punto varían con el tiempo (estado no estacionario).
- Transmisión de materia a través del sólido.- esta transmisión de materia se puede dar por difusión (debido a la diferencia de concentración) o capilaridad (por capilares existentes). En el secado de productos la difusión tiene lugar en aquellos alimentos con humedades iguales o inferiores a 25% (base húmeda), en tanto que la capilaridad se presenta para niveles altos de humedad iguales o mayores al 65% siempre y cuando exista capilares en la estructura del alimento.

Hay que tener en cuenta que la velocidad de secado va a depender del transporte más lento de los 4 antes mencionados. En la mayoría de los casos, se considera como procesos limitantes aquellos transportes de materia y calor que ocurren en el interior del alimento. (Casp, 2014)

1.4.4 Proceso de secado de pastas alimenticias

(Nogara, 1964) Afirma que: “la desecación de las pastas alimenticias es la más considerada y la más difícil operación, ya que la pasta es higroscópica y metereoscópica. Por consiguiente de ella depende la mejor o peor calidad de la pasta, su resistencia a la rotura, su aceptación en el comercio.” (p.91)

El proceso de secado de las pastas supone un sistema compuesto por dos fases: el aire de secado y la masa. El equilibrio termodinámico se asume en la interfase que de acuerdo con la isoterma de sorción, y la eliminación de agua, se rige por un transporte simultáneo de calor y materia (Larrosa, Lorenzo, & Zaritzky, 2016). La humedad es removida de la superficie de la pasta por una corriente de aire caliente, generando un gradiente de humedad dentro de la pasta. El proceso de secado debe darse desde el interior de la pasta ya que si la superficie se seca demasiado rápido se pueden generar agrietamientos debido a la formación de una corteza en la superficie del alimento, la cual dificultaría la salida del agua de las zonas internas. Las grietas o líneas de fractura que se desarrollan con un secado incorrecto pueden causar el quiebre del producto seco durante el empaque y el almacenamiento. El calor del secado ayuda a crear una red permanente de proteína alrededor de los gránulos de almidón, brindando de esta manera resistencia e integridad en la pasta, evitando que los gránulos de almidón se liberen durante la cocción; mejorando así la firmeza y la masticabilidad de la pasta cocida (Mora, 2012).

El tiempo de secado depende de las características del equipo donde se realiza el proceso (t_d , %HR, velocidad del aire, entre otros) y de las características del producto (contenido de agua: m y %H₂O, a_w , otros.) Durante el proceso la pasta elimina humedad con dificultad y lentitud a causa de fenómenos adsorptivos y osmóticos. Por ello el proceso demanda un régimen específico que facilite el transporte de la humedad desde el interior hasta el exterior a través de los capilares y garantice un producto de buena calidad. El secado de pastas de trigo tradicionales comienza con un producto con una humedad m de 31% hasta aproximadamente una m de 13% y obtiene una mayor consistencia estructural conferida por el retículo proteico que genera el gluten (Larrosa et al., 2016). Existen tres procesos de secado de acuerdo con la temperatura utilizada: el secado a temperatura normal alrededor de 50°C por aproximadamente 18 horas; secado a temperatura alta entre 60°C y 75°C por aproximadamente 8 horas; y el secado a temperatura ultra alta entre 85° y 105°C por 4 o 5 horas. Las temperaturas de 40-60°C sólo se utilizan en empresas de reducida producción. Una temperatura excesiva durante el secado es indeseable, ya que provocará la aparición de



color marrón en la pasta debido a un pardeamiento no enzimático extremo (reacciones de Maillard) (Mora, 2012).

1.4.5 Microorganismos presentes en la pasta

Las piezas de fideo resultantes de la etapa de moldeado contienen aproximadamente un 30% de humedad en masa húmeda, por lo que su vida útil es muy corta; razón por la cual el producto debe secarse hasta valores de humedad cercanos al 13%, con el propósito de obtener productos más rígidos que se puedan envasar, transportar y almacenar adecuadamente y que tengan una larga vida útil (Casp, 2014). El secado en las pastas alimenticias es una técnica usada para aumentar la estabilidad del producto, la cual consiste en retirar el agua libre presente en el alimento, para de esta manera retrasar la acción enzimática y el crecimiento de microorganismos como hongos y levaduras. Uno de los inconvenientes que se puede presentar en este tipo de alimentos son:

Fermentación y putrefacción.- etimológicamente la palabra fermentación se deriva del latín *fervere*, que significa hervir, y el agente provocador o levadura, viene de *levure*, que significa levantar. Actualmente se considera a la fermentación como un fenómeno muy complejo, la cual se origina por una amplia especie de microorganismos, que como efecto final, originan la descomposición del producto fermentado, en cuerpos más sencillos, con desarrollo de productos volátiles. Según el químico francés Pasteur la fermentación se halla íntimamente ligada con la vida del organismo. No hay que confundir la putrefacción con la fermentación, ya que la fermentación es la reacción de la cual, por producto final, se obtiene un producto utilizable, y por putrefacción cuando los productos finales son fétidos e inutilizables. Sin embargo estos se producen por una causa en común que es la intervención eficiente de los microorganismos, la cual se ayuda considerablemente por la presencia de cierto grado de humedad y de calor. (Combelli, 1952)

Acidez y Enmohecimiento.- estos se consideran los principales enemigos de las pastas alimenticias, así como la fermentación y la putrefacción, que se presentan generalmente en el proceso de desecación, cuando se trabaja en un medio ambiente húmedo y cerrado.

La temperatura óptima de equilibrio, en un medio ambiente normal, bien ventilado, está comprendida entre los 16°C y 20°C. La fermentación ácida se desarrolla fuertemente en la pasta alimenticia, cualquiera que sea la forma, cuando la elaboración de la misma ha sido muy prolongada o ha habido interrupciones en la misma, por un amasado incompleto o por una insuficiente desecación; el ácido que más se presenta en este caso es el ácido láctico. En tanto que los mohos se producen por minúsculas esporas que flotan en el aire en cantidades importantes, arrastradas por el viento, y cuando por una causa eventual se depositan sobre una superficie cualquiera, con un cierto grado de humedad y bastantes elementos de nutrición, las esporas desarrollan su capacidad vital, generando uno o varios filamentos sutiles que van ramificándose por la superficie y también penetrando en el interior de la masa atacada. (Combelli, 1952)

1.4.6 Parámetros de secado

Cuando se seca con aire forzado los parámetros que intervienen son: la temperatura y la humedad relativa ambiente, la temperatura y el flujo de aire de secado, el contenido de humedad inicial y de equilibrio de los granos, la temperatura y, dado el caso, la velocidad de dichos granos dentro del secador. Todos estos parámetros influyen en la tasa de secado como un conjunto de factores y no aisladamente. (Gan & Sandoval, 2003)

Condiciones del aire ambiente.- a la temperatura y humedad relativa del aire ambiente, en la mayoría de casos, no se les da importancia para el secado ya que tienen poca influencia sobre la tasa de secado, sin embargo fijan la cantidad de energía necesaria para alcanzar la temperatura para este proceso. Cuanto menor sea la temperatura ambiente, mayor será la cantidad de energía necesaria para calentar ese aire, lo que determina un mayor costo del secado. (Gan & Sandoval, 2003)

Temperatura de secado.- Gan y Sandoval (2003) afirman que “la temperatura del aire de secado es el parámetro de mayor flexibilidad en un sistema de secado a altas temperaturas e interviene significativamente en la tasa y la eficiencia de secado y en la calidad del producto final”. El medio secador es el aire el cual es usado para conducir el calor al

alimento y para arrastrar el vapor húmedo liberado del mismo. Habitualmente se utiliza el aire como medio secador debido a su abundancia, conveniencia y a que puede ser controlado el sobrecalentamiento del alimento. El secado de esta manera puede ser controlado y la probabilidad a tostarse y decolorarse son vigiladas. (Desrosier, 2004)

Endurecimiento de la cubierta. Si la temperatura del aire es alta y su humedad relativa es baja, hay el peligro de que la humedad que será eliminada de la superficie de los alimentos, sea secada más rápidamente de lo que el agua puede difundirse en el interior húmedo del alimento y es así que se forma un endurecimiento o cubrimiento sobre el alimento. Esta capa impermeable o límite, obstaculiza la libre difusión de la humedad. Fenómeno que puede ser evitado controlando la humedad relativa del aire circulante y la temperatura del aire (Desrosier, 2004).

Flujo del aire de secado.- la función del aire de secado es acarrear el calor al alimento ocasionando que el agua vaporice, y también funciona como vehículo para transportar el vapor húmedo liberado del alimento que se está deshidratando. La capacidad de humedad del aire depende de la temperatura (Desrosier, 2004). Algunos criterios importantes en el flujo de aire de secado son:

- Volumen de aire requerido en el secado. “Se necesita de 5 a 7 veces más aire para calentar el alimento que el necesario para transportar el vapor húmedo del alimento. (Desrosier, 2004, pág. 161)
- Velocidad de evaporación de las superficies libres. Mientras el área superficial sea mayor y a su vez mas porosa, la velocidad de secado del alimento será mayor. La velocidad de secado es proporcional a la velocidad del aire que fluye sobre la superficie del alimento.

Humedad inicial del producto.- el contenido de humedad inicial también interviene en la tasa de secado. Cuanto mayor sea el contenido de humedad de un producto, mayor será la cantidad de agua evaporada por unidad de energía. Con elevados contenidos de humedad,



las fuerzas de adsorción de la estructura celular del material sobre las moléculas de agua, son menores que cuando el contenido de humedad del producto es más bajo, lo que acarrea un mayor porcentaje de energía. (Gan & Sandoval, 2003)

Tiempo de secado.- el tiempo de residencia del producto dentro del medio secador puede influir en la tasa de secado, la eficiencia del proceso y la calidad final del producto. Si el flujo de masa aumenta, el producto final será, en general, de mejor calidad. Por otra parte, hay un aumento del consumo de energía específica, esto es, de la energía que se necesita para evaporar una unidad de masa de agua y una disminución de la eficiencia térmica del secado, de este modo el producto con un corto tiempo de residencia en el secador pierden menos humedad y el secado puede resultar insuficiente. El manejo adecuado del tiempo de residencia del producto tiene importancia fundamental en el secado. (Gan & Sandoval, 2003)



CAPITULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y ANÁLISIS

2.1 Generalidades de la empresa

PASTIFICIO NILO es una empresa familiar, ubicada en la ciudad de Cuenca, la cual se dedica, en general, a la elaboración de pastas alimenticias secas, tanto de fideos cortos como largos. Esta empresa nace en el año de 1973 con el Señor Carlos Ñauta, quien es hoy en día el presidente de la empresa, la primera década de esta empresa empieza con la elaboración de tallarines, de forma artesanal. Ya en el año de 1982 la empresa se formaliza y empieza a funcionar en el parque industrial de la ciudad de Cuenca, produciendo desde entonces una gama de fideos secos, tanto tallarines como fideos cortos. Por más de cuatro décadas la empresa participa del mercado de pastas alimenticias, gracias a la acogida que ha recibido de la región. Uno de los productos que más reconocidos y de gran demanda en el mercado son los tallarines Nilo.

2.1.1 Objetivos de la empresa

La empresa se guía por los siguientes lineamientos:

Misión. Ser una empresa de éxito y de mayor desarrollo en la producción y comercialización de alimentos de consumo masivo, logrando el reconocimiento de nuestros consumidores.

Visión. Convertirse en una empresa líder en el mercado local y nacional, produciendo productos y marcas competitivas que brinden satisfacción a nuestros consumidores y rentabilidad a la empresa.

2.1.2 Organigrama de la empresa

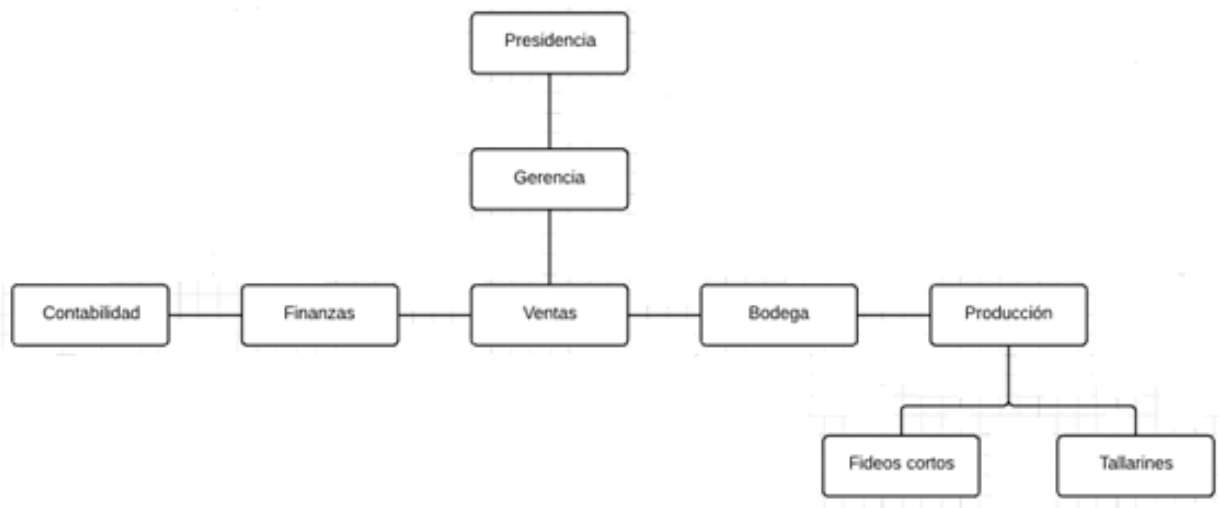


Figura 6. Organigrama de la empresa Pastificio Nilo

Elaboración propia

2.1.3 Distribución de la planta

La figura 7 muestra el layout actual de la planta, que define un espacio para cada tarea; habiendo dos secciones, una para la elaboración de fideos cortos y otra para la elaboración de tallarines, la planta cuenta con seis cuartos de secado, de los cuales, uno se encuentra en desuso, estos funcionan en base a gas licuado de petróleo (GLP); los cuartos de secado se usan tanto para los fideos cortos como para los largos, y la utilización de estos depende, en gran medida de la demanda de producto que tenga la empresa. Cuentan con vehículos montacargas dentro de la planta, los cuales sirven para transporte de materias primas en la etapa de dosificación; así mismo para el manejo del producto terminado.

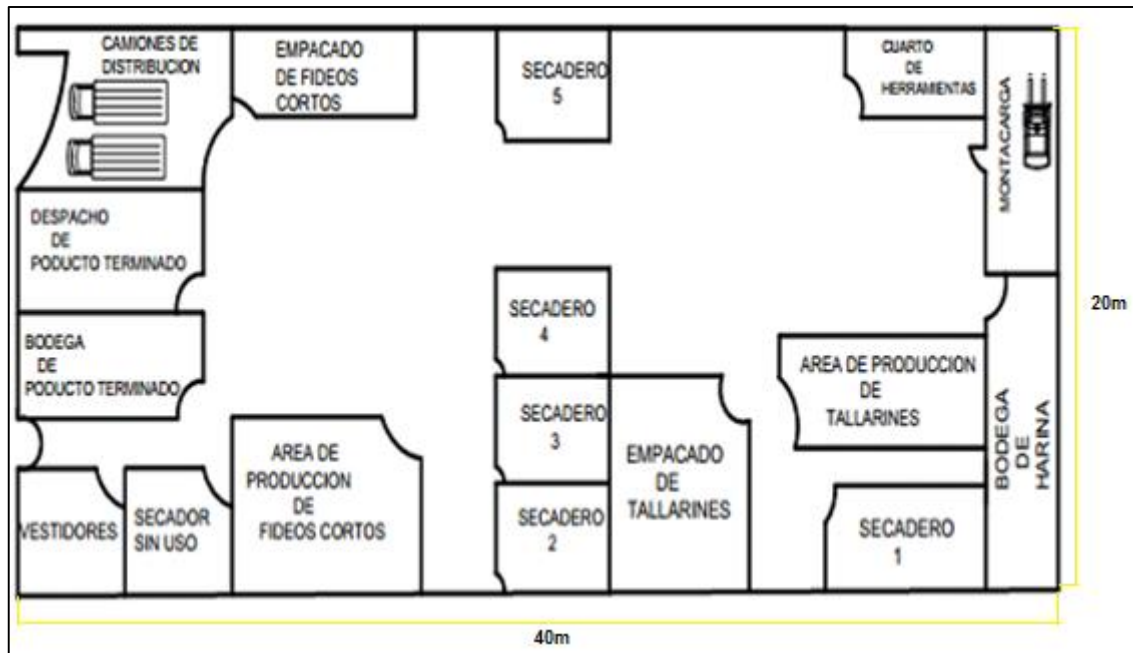


Figura 7. Layout de la planta de producción

Elaboración propia

2.2 Situación actual en el área de secado

La situación actual de la empresa para el secado de las pastas alimenticias es la siguiente: cuenta con 5 cuartos de secado, en uso, tanto para fideos cortos como para tallarines, esto está en función de los requerimientos de los clientes. El presente estudio se realizó en un solo cuarto de secado, el cual se muestra en la figura 8, debido a que las dimensiones de todos estos cuartos son muy similares, el tamaño de cada cuarto es de: cinco metros de largo por cuatro metros de ancho y dos metros y medio de alto; dotados de dos ventiladores con motor de 3HP ubicados en el centro del cuarto, los cuales están cubiertos por un armazón; también posee cuatro extractores ubicados en la parte frontal del cuarto, los cuales están ubicados en los extremos, dos arriba y dos abajo.

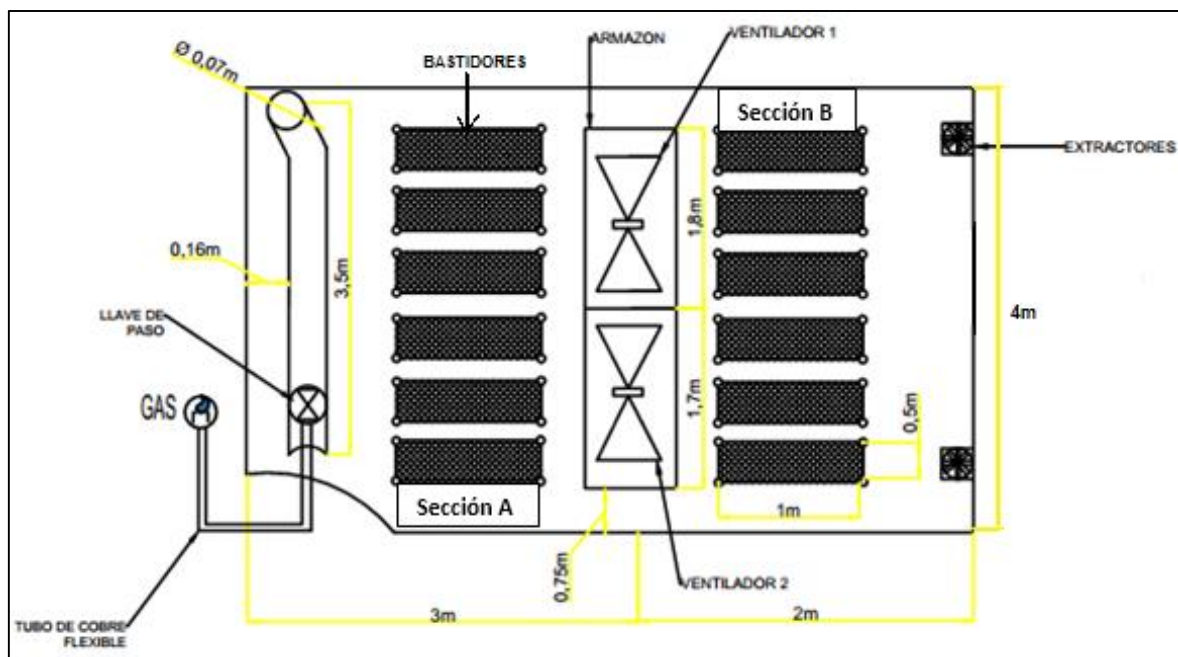


Figura 8. Layout del cuarto de secado

Elaboración propia

2.2.1 Descripción de la maquinaria

Dentro del cuarto de secado se encuentran: el quemador, los ventiladores y los extractores. A continuación se detallan cada uno de ellos.

Quemador.- este funciona con gas licuado de petróleo, el cual circula por medio de un tubo de cobre flexible, para luego ser encendido y colocado en un tubo que se encuentra ubicado en la entrada del cuarto de secado, el cual está a una altura de 0,025m del suelo, es por esta estructura que circula el calor que va calentar el aire del cuarto. Por medio del quemador se controla la temperatura de secado, ya sea aumentando la llama para mayor temperatura o disminuyéndola para bajar la temperatura. El consumo aproximado de energía para un lote de producción es de 16380 kcal/h.



Figura 9. Fotografía del tubo por donde circula el calor

Ventiladores.- cada cuarto de secado consta de dos ventiladores ubicados en el centro del mismo, estos se encuentran cubiertos por un armazón para evitar posibles accidentes. Los dos ventiladores operan en el mismo sentido con 1700 rpm y comparten un mismo motor de 3HP. Se estimó, mediante un medidor digital de velocidad de aire, que la velocidad de aire que emiten estos ventiladores es aproximadamente de 1,5m/s en todos los cuartos.



Figura 10. Fotografía de los ventiladores

Extractores.- existen cuatro extractores en cada cuarto de secado, los mismos que están ubicados en la pared frontal del cuarto dos en los extremos de arriba y dos en los extremos de abajo del cuarto.



Figura 11. Fotografía de los extractores

2.3 Descripción del proceso de producción

La producción inicia con la carga en la mezcladora de una formulación de harina de trigo, sémola de trigo duro y agua potable; posteriormente se procede al amasado de las materias primas para conseguir una masa homogénea; luego está el proceso de moldeado en el cual se traslada el producto a laminadoras (para tallarines) o a la extrusora (para fideos cortos); a continuación se traslada al proceso de corte; el proceso siguiente es el secado, proceso crítico, en el cual el producto a secar entra al cuarto de secado con humedades entre 30% - 32% de humedad en base húmeda, para luego de 48 horas salir con un contenido de humedad en base húmeda de aproximadamente 9%; luego el producto seco es llevado al área de pesado y envasado para finalmente ser almacenado en espacios destinados para este fin. El diagrama de flujo para el proceso de producción de la fábrica se muestra en la siguiente figura:

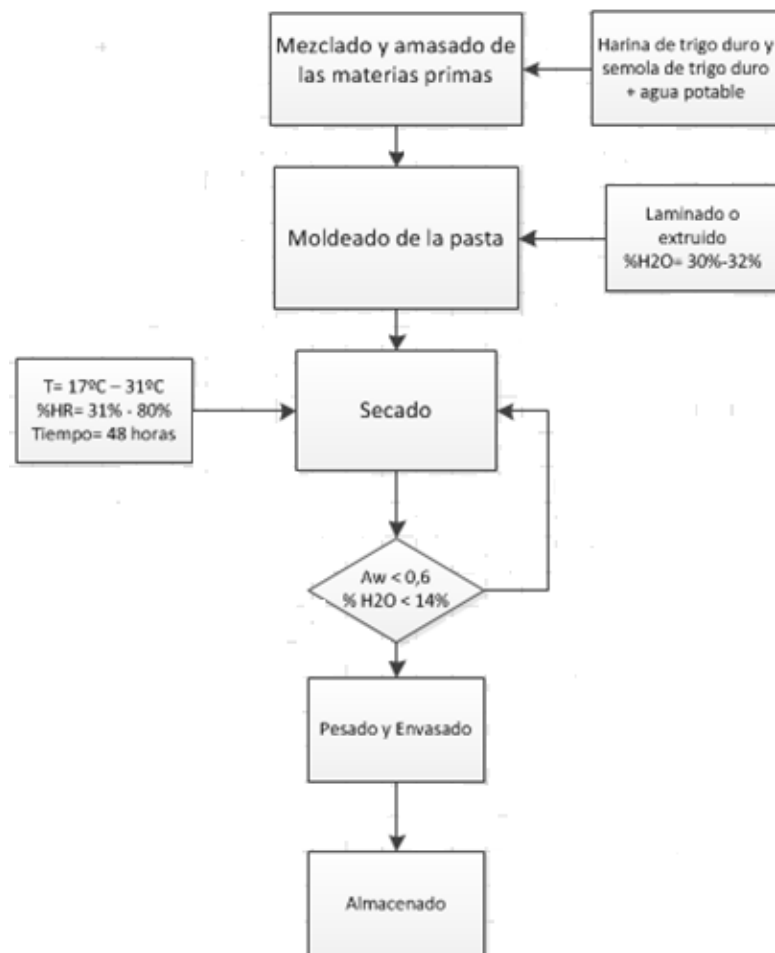


Figura 12. Diagrama de flujo del proceso de producción de pastas alimenticias

Elaboración propia

2.4 Descripción del proceso de secado

En el análisis inicial el proceso de secado se realizaba en dos partes: para la primera parte se contabilizaron 6 estibas con 28 bastidores cada una colocada con alzas de madera para su división con cinco centímetros de altura; para la segunda parte se colocaron seis estibas más con la misma disposición. Las 6 primeras estibas entran al lado del quemador (sección A) y después de 4 horas entran las otras 6 estibas en la sección B, luego de un tiempo de 18 horas de secado se cambian las estibas de la sección A a la B y las de la sección B a la A, esto con el fin de homogenizar el secado del producto.

El quemador se prende cuando se está en la fase de moldeado de la pasta y se apaga 42 horas después. Los ventiladores empiezan a funcionar una hora después de que el quemador esté encendido, la temperatura con la que trabajan esta entre 25°C y 35°C en el día y por la noche puede llegar a 15°C, debido a los cambios de clima que sufre la región, lo que hace que no se pueda trabajar a una temperatura estable en todo el proceso. Cuando el proceso de secado termina, el producto se transporta al área de empaque. La siguiente figura muestra el diagrama de proceso de operaciones del cuarto de secado actual.

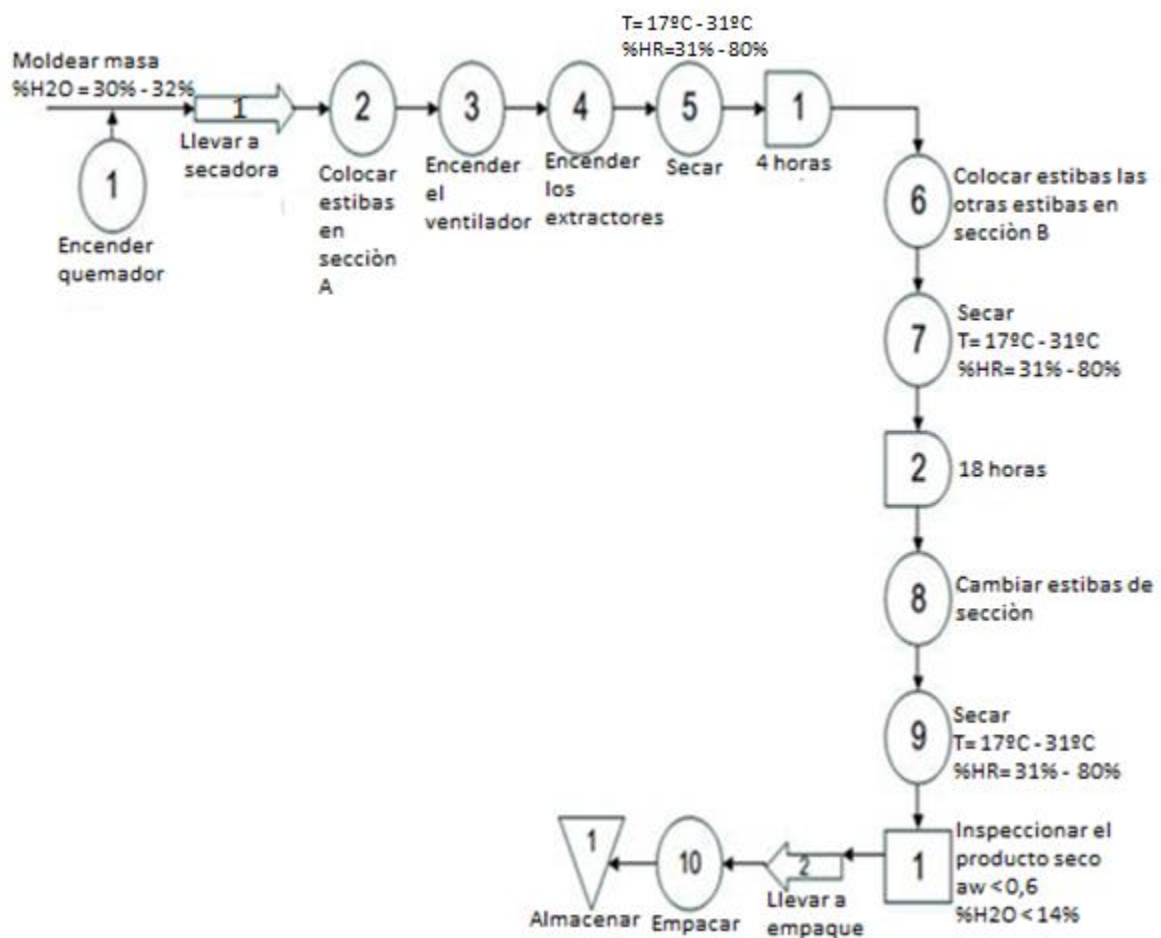


Figura 13. Diagrama de proceso de operaciones del secado de pastas alimenticias

Elaboración propia

2.5 Determinación de los parámetros de secado

2.5.1 Parámetros en el cuarto de secado

Se realizó una evaluación de la situación actual del proceso de secado de la empresa, evaluando temperatura, humedad relativa y tiempo desecado. Para la obtención de los datos de temperatura y humedad relativa se utilizaron 10 sensores, los cuales se ubicaron estratégicamente en el cuarto de secado como se muestra en la figura 14. De los cuales 9 sensores se ubicaron dentro del cuarto de secado, el un sensor (3) se ubicó en la parte exterior del cuarto de secado para tener una referencia de la temperatura y humedad relativa del ambiente.

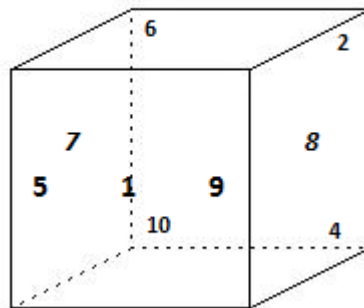


Figura 14. Esquema de la ubicación de los sensores en el cuarto de secado

Elaboración propia

Los datos recolectados de temperatura y humedad relativa del mes de julio se muestran a continuación en las figuras de la 15 a la 24, estas representan lotes de producción de 40 kilos de harina, los cuales eran secados originalmente en tiempos de 44 horas, de las cuales 40 horas con el quemador, ventiladores y extractores encendidos y las últimas 4 horas en reposos para el enfriamiento.

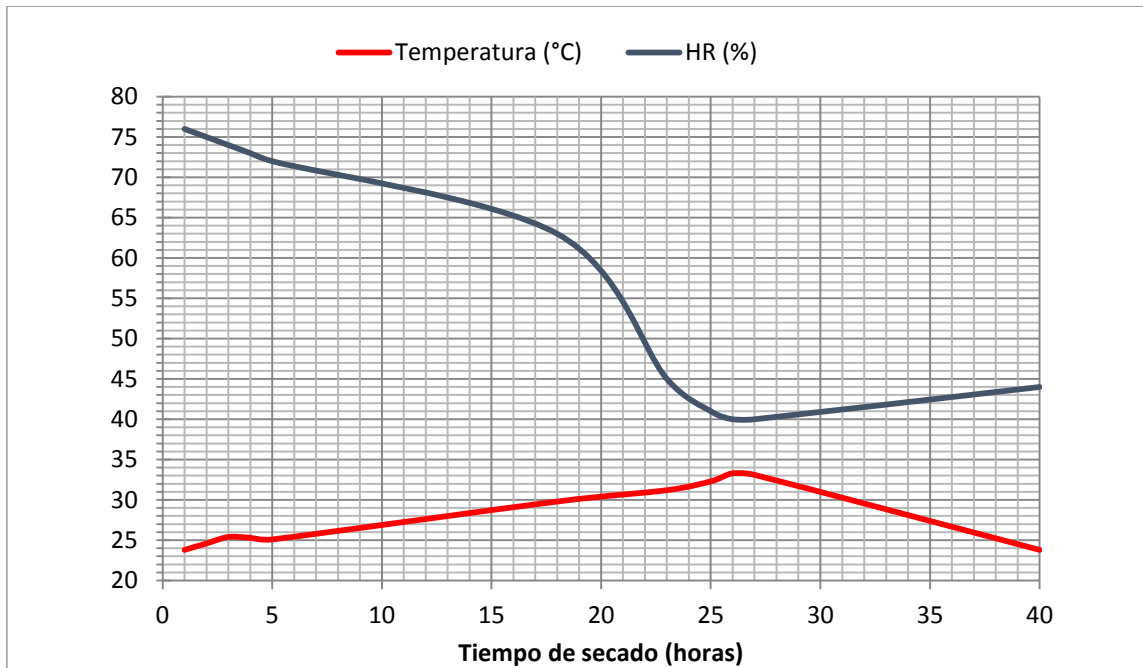


Figura 15. Curva de Temperatura y % HR del sensor 1

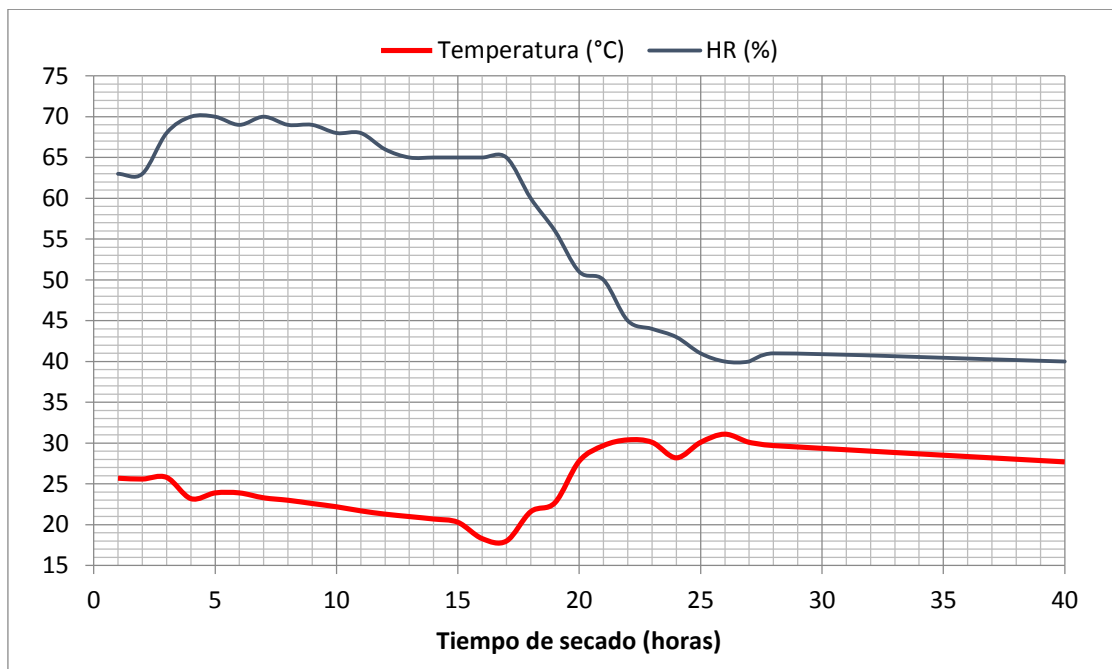


Figura 16. Curva de Temperatura y % HR del sensor 2

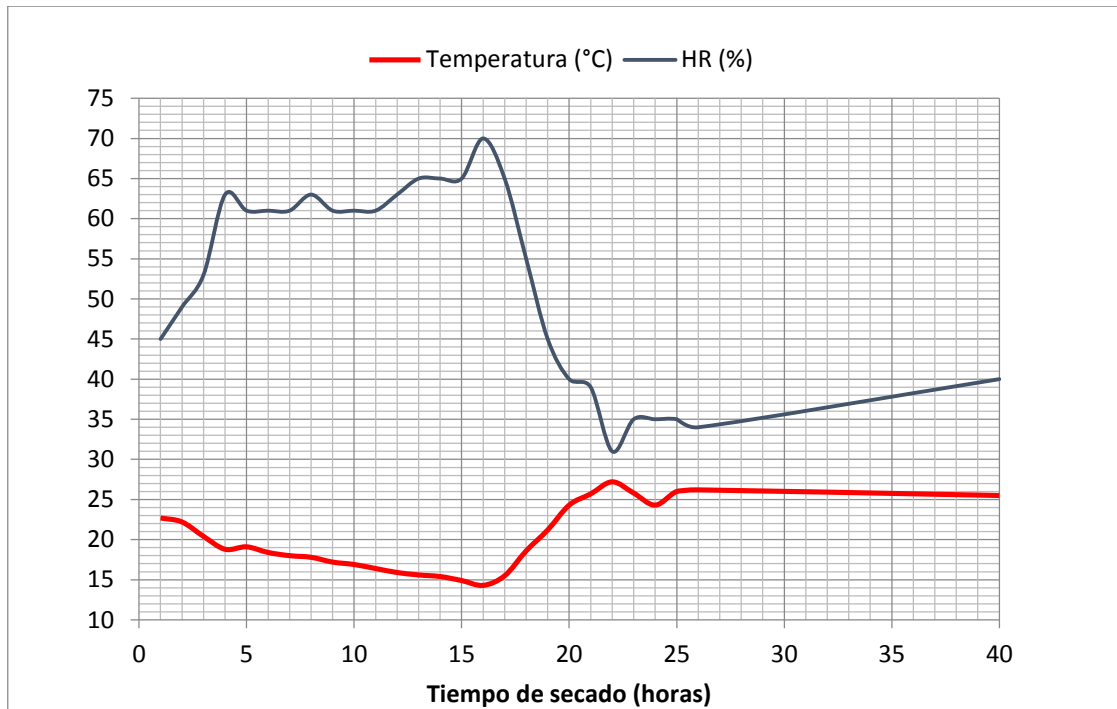


Figura 17. Curva de Temperatura y % HR del sensor 3

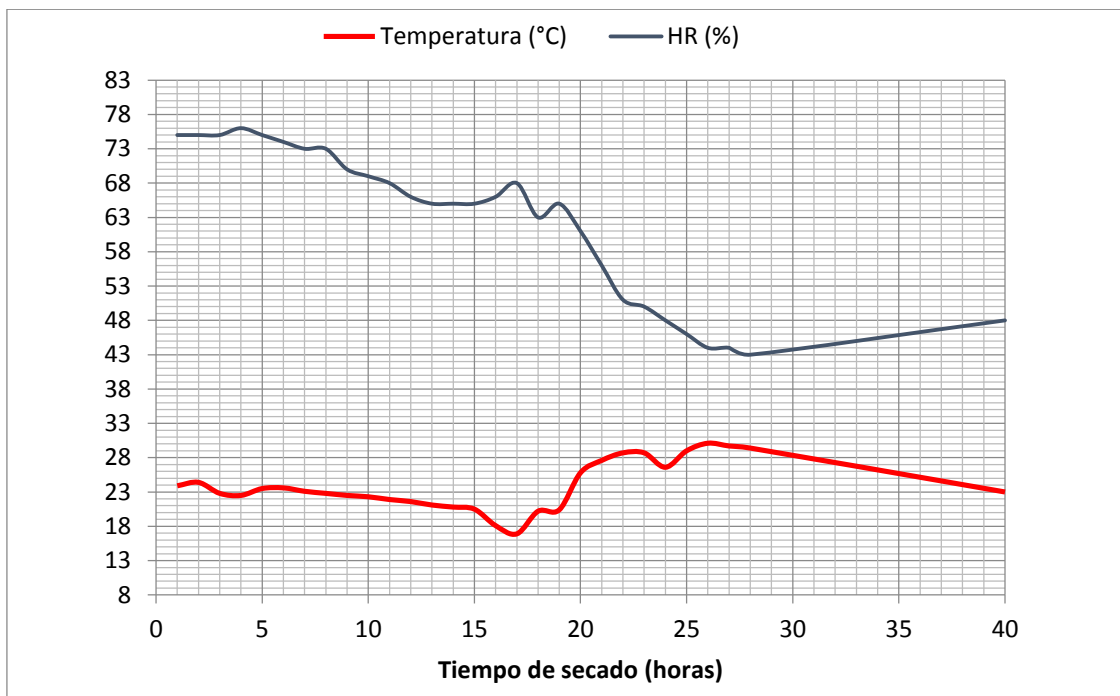


Figura 18. Curva de Temperatura y % HR del sensor 4

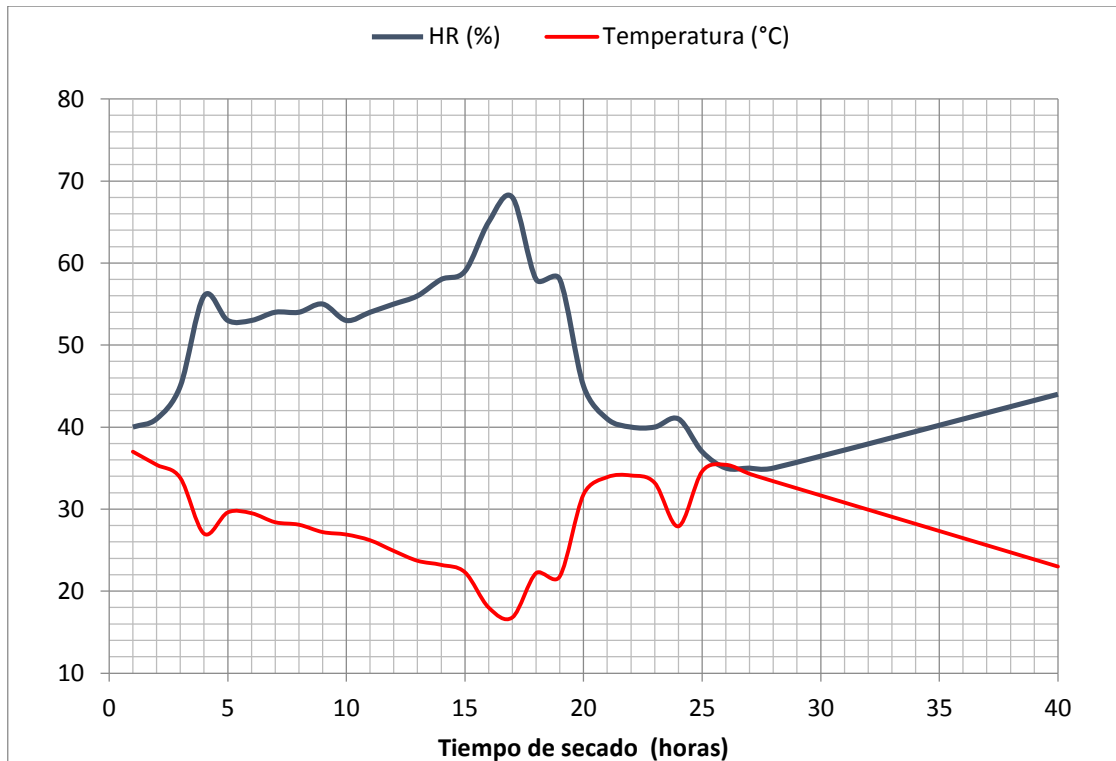


Figura 19. Curva de Temperatura y % HR del sensor 5

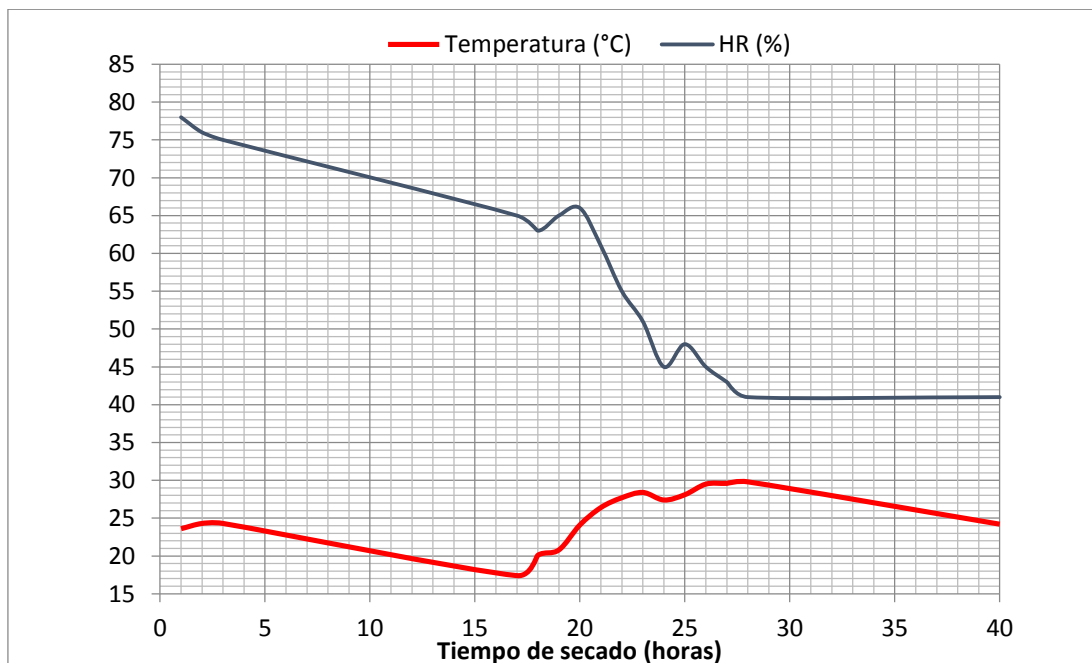


Figura 20. Curva de Temperatura y % HR del sensor 6

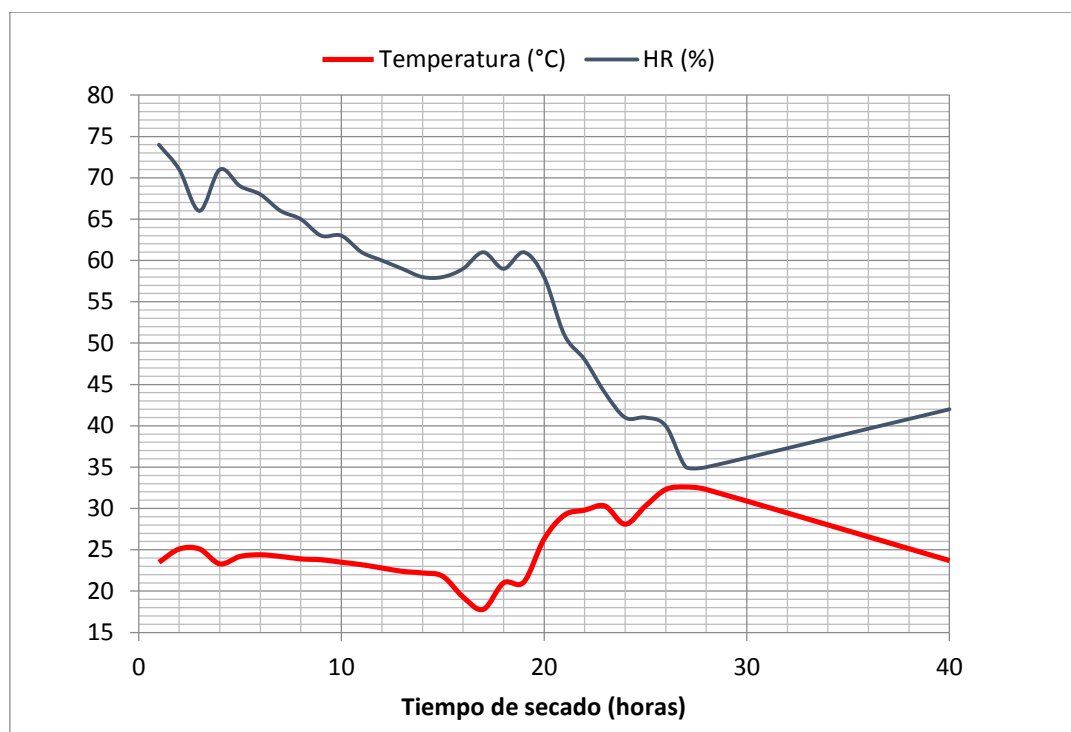


Figura 21. Curva de Temperatura y % HR del sensor 7

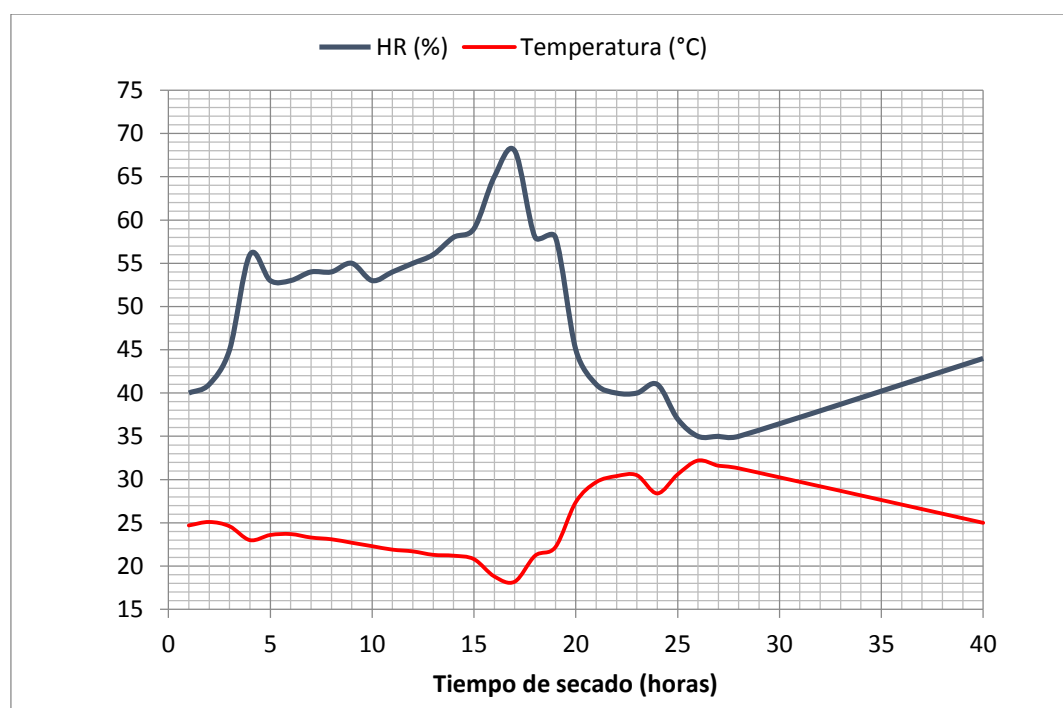


Figura 22. Curva de Temperatura y % HR del sensor 8

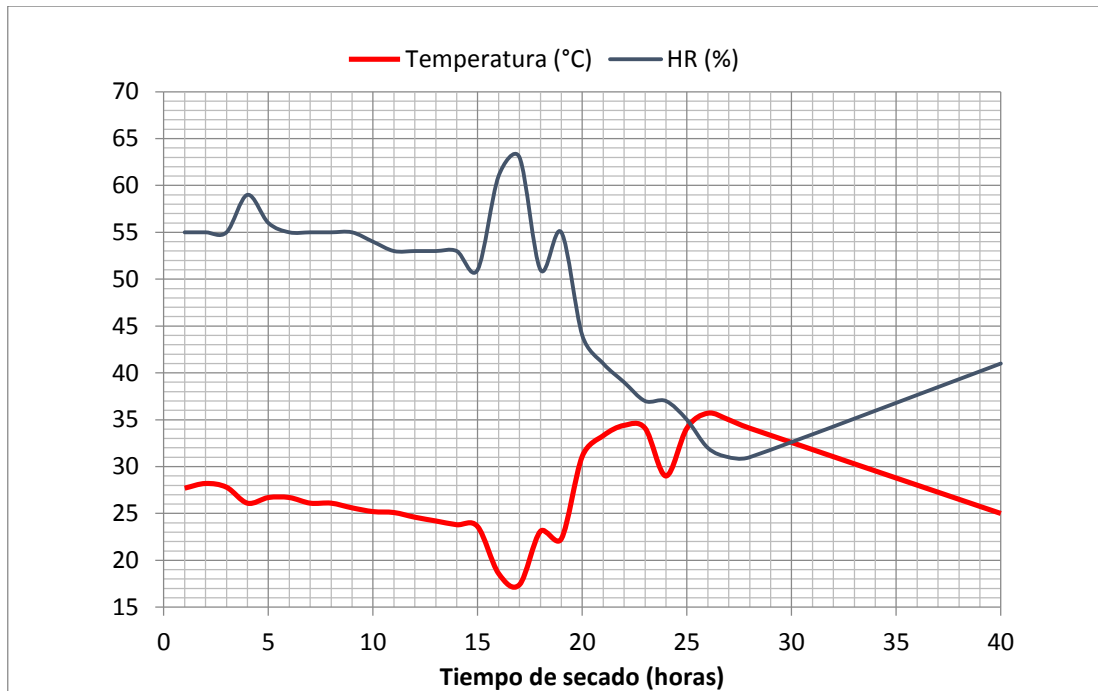


Figura 23. Curva de Temperatura y % HR del sensor 9

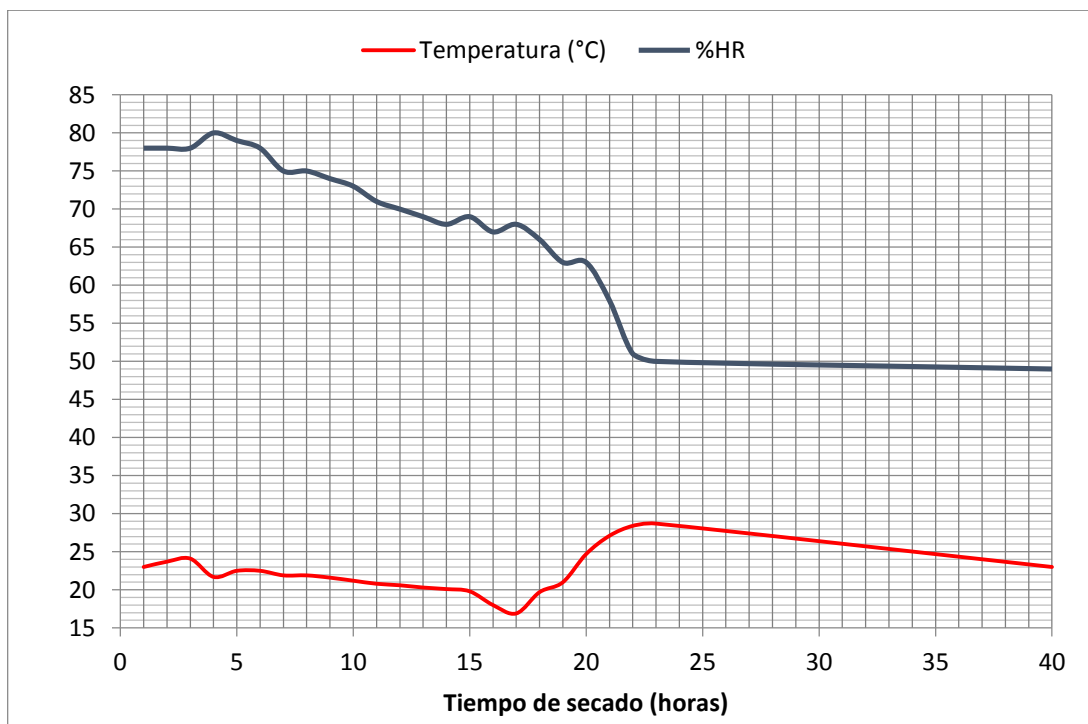


Figura 24. Curva de Temperatura y % HR del sensor 10



2.6 Análisis de los parámetros de secado del proceso original

2.6.1 Parámetros del cuarto de secado

Analizando las curvas y los datos de temperatura y %HR emitidos por los diferentes sensores podemos decir que el rango de temperatura promedio a la que se encuentra el cuarto de secado esta entre 17,75°C como temperatura baja y 31,61°C como temperatura alta, lo que demuestra que no se mantiene una temperatura estable sino que varía en un rango de 13,86 °C. Situación inadecuada ya que el control de temperatura es crítico en el proceso de secado de pastas alimenticias, por lo que debería ser estándar y mantenerse más alta, por lo general 50°C (Mora, 2012), para dicho proceso.

La estabilidad de la temperatura en el cuarto de secado no se da, y esto ocurre porque el cuarto no es totalmente hermético, debido a que presenta espacios por los que se pierde calor, también los extractores son grandes y antifuncionales, al funcionar 4 de estos en cada cuarto de secado, se asume que parte de las pérdidas de calor también se da por estos lugares. Existe también un espacio vacío de aproximadamente un metro entre la parte superior de las estibas y el techo, espacio que necesita también calentarse y que no cumple ninguna función, lo que involucra gasto innecesario de energía, espacio y tiempo.

Analizando las curvas de temperatura se observa que la temperatura máxima del cuarto se presenta entre las 23 y 28 horas de secado, siendo a las 12am del segundo día de secado la temperatura máxima que marcan 6 de los 10 sensores; en tanto que a las 2am del primer día de secado se registra la temperatura más baja en 9 de los 10 sensores.

Con respecto a la humedad relativa del cuarto de secado tenemos que este presenta una %HR máximo de 80% y un %HR mínimo de 31%. El comportamiento de las curvas de %HR obtenidas en el cuarto de secado presenta un comportamiento lógico ya que al final del proceso la a_w del producto ha disminuido a valores de $a_w=0,35$ aproximadamente, cumpliendo con el objetivo del proceso de secado.

Otro parámetro importante es el tiempo de secado de las pastas alimenticias, en este caso la fábrica tiene un proceso de secado ineficiente, ya que el tiempo de residencia del producto en el cuarto de secado es de 44 horas, esto debido a que la temperatura de secado es muy baja y no es estándar, razones por la cual dificulta en gran medida llevar un proceso adecuado, lo que conlleva a altos costos operativos debido a esta situación.

2.6.2 Parámetros en el producto final

Luego de haber recogido datos de los parámetros del cuarto de secado, se procedió a hacer la determinación de los parámetros en el producto final, analizando: el contenido de agua y la actividad acuosa, que se obtiene al trabajar con los datos de temperatura y %HR obtenidos anteriormente. Para la determinación del contenido de agua se realizó con la ayuda del método Karl Fischer; en tanto que para la determinación de la actividad acuosa se realizó mediante un higrómetro. Estas determinaciones tuvieron como paso previo la trituration de la muestra, con el fin de lograr una mayor superficie de contacto. Cabe recalcar que dicha determinación se realizó por triplicado, obteniendo así los siguientes datos.

Tabla 4. Determinación de parámetros en el producto final

Muestra	Peso de la muestra (g)	% H₂O	m	aw
1	0,3573	9,98	11,08	0,375
2	0,3565	8,69	9,51	0,335
3	0,3525	8,68	9,50	0,34
Promedio		9,11	10,03	0,35

Como se muestra en la tabla 4, el producto final presenta valores de % H₂O = 9,11%, m = 10,03g de H₂O/100 g ss y una aw de 0,35 lo que demuestra que se está cumpliendo con el objetivo principal que es secar las pastas alimenticias, obteniendo una adecuada conservación del producto y cumpliendo con los requerimientos de humedad que estipula la norma INEN 1375 la cual admite 14% de humedad en base húmeda como valor máximo permisible; sin embargo la cantidad de agua en el producto final está muy por debajo de



este valor e incluso está aún más bajo del contenido de agua óptimo que la literatura presenta que es de 13% en base seca (Mora, 2012), características que repercuten en una deficiente calidad del producto (fideos que se resquebrajan fácilmente, coloración amarillenta), en gastos innecesarios de energía, dinero (bajo rendimiento de harina) y tiempo.

En cuanto a la actividad acuosa, el producto final presenta un valor de 0,35 siendo este valor un indicador del agua libre que el alimento dispone para reacciones químicas, enzimáticas y crecimiento microbiano (Jeantet, Croguennec, Schuck, & Brulé, 2013). Según (LabFerrer, s.f.). El valor de actividad de agua para tallarines, con 12% de humedad en base húmeda, es de 0,5 valores con el cual ya no se da proliferación microbiana.



CAPITULO III

MEJORAS AL PROCESO DE SECADO

Si la eficiencia es el cumplimiento de una tarea para obtener un producto de calidad al más bajo costo de operación, se pretende optimizar la producción de secado, al aumentar la eficiencia en el proceso de secado. Para lo cual se analizaron los datos obtenidos en el capítulo anterior y se llegó a la conclusión de que había varios puntos posibles de mejora. Entre estos está un rediseño del cuarto de secado, disminuir el tiempo de secado para obtener pastas alimenticias con humedad optima y realizar pruebas piloto para determinar la temperatura optima de secado. Se decidió trabajar sobre dos de estos puntos, fundamentales en esta iteración: disminuir el tiempo de secado y realizar pruebas piloto a diferentes temperaturas.

3.1 Tiempo de secado

El tiempo de secado óptimo para pastas alimenticias va relacionado directamente con el contenido de humedad tanto en base húmeda como en base seca y asimismo con la a_w que el producto presente, es decir este tiempo será aquel en el cual la humedad en el producto sea considerada la óptima. Es por ello que a través de la observación directa y con la determinación del contenido de humedad del producto y a_w a lo largo del proceso de secado, se obtuvieron datos que ayudaron a determinar el tiempo óptimo de secado de las pastas alimenticias dentro de la fábrica, confirmándose que al realizarlo en dos periodos se incurre en gastos innecesarios de energía, tiempo y pérdida de producto.

3.1.1 Materiales

Para la determinación del tiempo de secado óptimo en el proceso de secado de pastas alimenticias en la fábrica, se realizó el análisis en dos etapas. El análisis se hizo para la sección A.

Para ello, se utilizó como materia prima muestras de producto antes, durante y después del proceso de secado, el tipo de pasta alimenticia usado para el análisis fue el tallarín. El contenido de humedad en el producto empacado es 14% H_2O según la Norma INEN 1375:2000 Primera revisión, como límite máximo permisible para pastas alimenticias (fideos secos). Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de Humidificación y Secado de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de Cuenca, debido a que la fábrica no cuenta con equipos de control, por lo que las muestras fueron movilizadas del Parque Industrial a la Universidad de Cuenca protegiéndolas en recipientes de vidrio herméticos. En la siguiente tabla se muestran los equipos utilizados para la determinación del tiempo óptimo de secado:

Tabla 5. Equipos utilizados para la determinación del tiempo óptimo de secado

Análisis	Equipo	Marca	Modelo
%H ₂ O por método gravimétrico	Estufa	memmert	SN 75
	Desecador	-	-
	Balanza analítica	Mettler Toledo	ME 204
Contenido de agua	Karl Fischer	Mettler Toledo	Easy KfV
Actividad acuosa	Higroscopio	rotrac	DT

3.1.2 Métodos

Para este apartado los métodos a seguir para el análisis fueron mediante las curvas de secado y las isotermas de sorción. Las primeras se generaron en relación al contenido de agua que presenta el producto en los diferentes intervalos de tiempo en el secado; en tanto que las segundas fueron mediante isotermas de desorción que relacionan la humedad en base seca y actividad acuosa.

3.1.3 Curvas de secado

Su determinación fue llevado a cabo en las dos etapas, para ello se realizó la determinación del contenido de humedad en el producto a lo largo del proceso, cuantificando el peso seco del alimento que es la suma de todos los componentes no volátiles que tiene. El peso seco se determina, por lo general, por secado de la muestra y pesaje del residuo de la misma

hasta obtener peso constante; el método usado para esta determinación es el gravimétrico, según la norma NTE INEN 0518.

Para la determinación de peso por calentamiento se pesó aproximadamente 2g de la muestra, previamente triturada y fue secada por dos horas a una temperatura de 110°C, hasta que el peso de la muestra sea constante. Este análisis se realizó por triplicado para cada muestra. El contenido de agua se calculó con la siguiente ecuación, asumiendo que todo el peso perdido es solo agua ya que las únicas materias primas utilizadas para la elaboración de pastas alimenticias son agua y harina de trigo.

$$\%H_2O = \frac{\text{peso de la muestra} - \text{peso de muestra seca}}{\text{peso de muestra}} * 100$$

Con estos datos obtenidos a lo largo del proceso de secado se realizó la curva en relación a la pérdida de agua a lo largo del tiempo de secado.

3.1.4 Isotermas de sorción

Con los porcentajes obtenidos de contenido final de agua en cada intervalo de tiempo, se realizó la conversión del contenido de humedad en base húmeda a humedad en base seca, con la siguiente formula:

$$m = \frac{\%H_2O}{100 - \%H_2O} * 100$$

Donde:

m: son los gramos de agua por 100 gramos de sólido seco.

$\%H_2O$: Es el contenido de humedad en base húmeda de la muestra, diferente para cada intervalo de tiempo.

Para este caso la isoterma construida será de desorción en la cual el producto húmedo que se sumerge en una atmósfera seca, cede vapor hasta que la presión parcial resultante llegue a ser igual a la tensión de vapor de equilibrio. La misma que es graficada en relación entre el contenido de humedad en base seca y a_w sobre un rango de valores a temperaturas constantes. El objetivo de esto es obtener la isoterma de desorción para el secado de pastas alimenticias de la fábrica, generando gráficos de a_w vs m (g agua/100 g ss).

El objetivo de determinar la a_w se debe a que este parámetro gobierna las transformaciones de energía y la transferencia de masa, ya que tanto las reacciones químicas que causan el deterioro de los alimentos como las reacciones biológicas que permiten crecer a los microorganismos requieren energía, por ello es fundamental comprender como el contenido de humedad de los alimentos afecta a su estabilidad o deterioro. Para esta determinación se utilizó el higrómetro Kaymont, el cual cuenta con una cámara donde se coloca la muestra en un portamuestras a una temperatura constante, aislándolo totalmente del ambiente exterior. La muestra debe ser pulverizada, más o menos compacta y homogénea, la cual debe ocupar aproximadamente un 80% del volumen del portamuestras, quedando el espacio de cabeza con aire, que después de determinado tiempo alcanza el equilibrio termodinámico. El higrómetro en contacto con el espacio de cabeza permitirá determinar la a_w que es igual a la humedad relativa de equilibrio dividida por un factor de 100. La siguiente ecuación define a la a_w :

$$a_w = \left(\frac{p}{p_0} \right)_t$$

Donde:

p : presión parcial de vapor de agua del producto.

p_0 : presión parcial del vapor de agua pura

t : temperatura

3.2 Pruebas piloto de secado

Se realizaron ensayos de secado a temperaturas constantes de 35°C, 46°C y 57°C, con el fin de determinar un rango de temperaturas más idóneas para obtener un producto más estándar, que cumpla con la humedad dentro de la normativa y que contenga una humedad y aw adecuada sin que el producto presente deterioro en sus propiedades reológicas y organolépticas. Las muestras húmedas de pastas alimenticias a secar fueron llevadas desde el Parque Industrial hasta la Universidad de Cuenca, en recipientes totalmente herméticos.

3.2.1 Materiales

La materia prima que se utilizó para estos ensayos fueron tallarines que salieron del proceso de moldeado, es decir muestras húmedas de aproximadamente 32% H_2O y/o una m de 35,02 g de $H_2O/100$ g de sólido seco; que no han recibido ningún tratamiento de deshidratación. El proceso de secado de estas muestras húmedas se realizó en un deshidratador modelo PT 40 de aire forzado con sistema de control de temperatura, que permite medir la pérdida in situ de manera continua con una balanza digital de precisión modelo MS 16025 marca Mettler Toledo, que se encuentra conectada a una computadora, como se muestra en la figura 25, en la cual se reciben los datos cada cinco minutos en el programa Excel. Se ensayaron tres condiciones de proceso a diferentes temperaturas (35°C, 46°C y 57°C), manteniendo constante la velocidad del aire (1m/s).



Figura 25. Fotografía de los equipos utilizados en los ensayos de secado de pastas alimenticias

3.2.2 Método

En primer lugar se hizo una determinación del contenido de humedad tanto de los fideos húmedos como de los secos, lo cual se llevó a cabo mediante el equipo de Karl Fischer modelo Easy KfV marca Mettler Toledo, el cual se basa en un procedimiento de análisis químico basado en la oxidación de óxido de azufre con yodo en una solución de hidróxido metílico. En principio se da la siguiente reacción química:



La valoración puede ser realizada de forma volumétrica o coulométrica. Para este caso se utilizó la primera, la cual añade una solución Karl Fischer que contiene yodo hasta que se advierte la primera traza de yodo sobrante. La cantidad de yodo convertido se determina a partir del volumen en bureta de la solución Karl Fischer con contenido de yodo. Este método determina la humedad específica para el agua. El dato de humedad así obtenido se registra en una pantalla del equipo.

En tanto que la determinación para la actividad acuosa de la muestra antes y después de ser secada se realizó mediante un higroscopio modelo DT marca rotronic, para el cual su fundamento se explicó en el apartado 3.1.4. Una vez conocido el contenido de humedad y la actividad acuosa de la muestra se procedió a pesarla, tomando un peso estándar para cada muestra de aproximadamente 100g en cada uno de los ensayos. Posteriormente fueron secadas hasta peso constante.

Para la construcción de las curvas de secado se tomaron como punto de partida los pesos obtenidos de las muestras analizadas en los diferentes tiempos de secado, a las cuales se expresa como peso de sólido húmedo, que es la suma del contenido de agua más el contenido de masa seca en la muestra, con lo cual se realizó el gráfico de la figura 28, la cual hace referencia al contenido de humedad en base húmeda de la muestra con respecto al tiempo, para esta determinación se partió del dato del contenido de agua final de la muestra, a la cual se le suma la diferencia que existe entre peso y peso de la muestra cada cinco minutos, para de esta manera demostrar la pérdida del contenido de agua durante el proceso



de secado. Posteriormente, en base de los datos obtenidos anteriormente se procedió a graficar una segunda curva, en la cual se relaciona la humedad en base seca con el tiempo, como se muestra en la figura 30. El cálculo de la humedad en base seca (m) se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$m = \frac{\text{masa de agua}}{\text{masa de sólido seco}} * 100 \left(\frac{g \text{ de agua}}{100 g \text{ ss}} \right)$$



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Tiempo de secado en condiciones de la fábrica

Los resultados aquí obtenidos se muestran en dos análisis realizados para la sección A, en donde se determinan: la curva de secado del contenido de humedad con respecto al tiempo, y la isoterma de sorción para las pastas alimenticias. Estas determinaciones se hicieron para diferentes tiempos de secado. Cabe recalcar que se trabajó sobre esta sección ya que la sección B padece de mayores defectos.

4.1.1 Análisis de humedad para la sección A

Con el análisis actual que se realizó en el proceso de secado, ver capítulo III, se determinó que el tiempo de 44 horas para secar las pastas alimenticias era excesivo debido a que la humedad en base húmeda del producto final era 9,11% su humedad en base seca era 10,03 g de agua/ 100g ss y la actividad acuosa de 0,35 parámetros que están muy por debajo de lo óptimo (%H₂O 12%-14%; aw < 0,6) por lo que inicialmente se redujo el tiempo a 37 horas de secado. Es con esta reducción de 7 horas que se procedió a realizar un seguimiento del secado del producto, analizando en este tiempo el contenido de humedad y la actividad acuosa de cuatro muestras tanto tomadas en diferentes tiempos de secado.

Tabla 6. Seguimiento de humedad y actividad acuosa en las 37 horas de secado

Tiempo	%H ₂ O	m	aw
0	29,8	42,45	0,953
4	26,17	35,44	0,946
22	13,98	16,25	0,675
37	12,08	13,73	0,512

Obteniendo así las curvas de secado que se muestran en la figura 26, de la cual se procedió a determinar el tiempo exacto al cual el producto presenta la humedad en base húmeda establecida en la norma INEN 1375 que es del 14%.

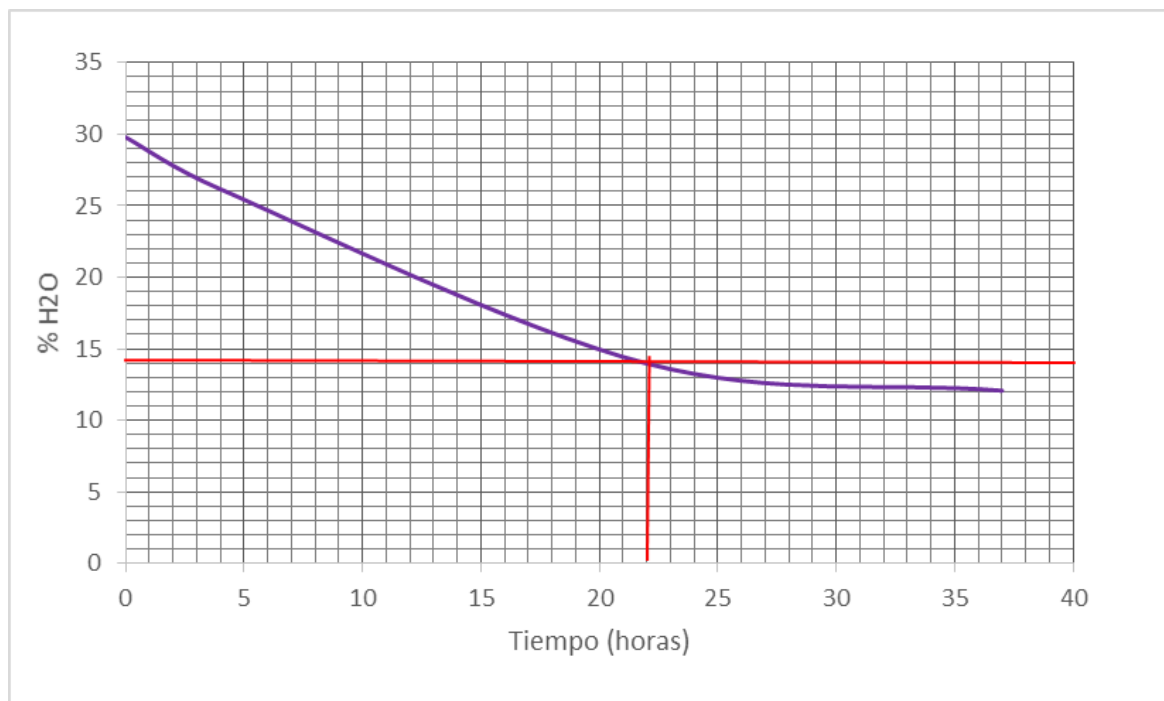


Figura 26. Curva de secado en relación a la humedad en base húmeda para el proceso de 37 horas

Con la curva de secado obtenida se observa que el secado en muestras de la sección A presenta una disminución de humedad en el producto casi lineal durante las primeras 20 horas de secado donde la velocidad de secado es constante y a partir de este tiempo la velocidad de secado decrece. Si determinamos el tiempo de secado para una humedad del

14 %, según la línea roja trazada en la figura 26, vemos que para la hora 22 el producto ya cuenta con una humedad del 14% lo que significa que el producto ya cumpliría con uno de los parámetros que debe tener el producto final según lo establecido por la norma NTE INEN 1375 (2014). A este tiempo los fideos de la sección A pueden ya ser enfriados para su posterior empacado.

4.1.2 Análisis de humedad

Se enfocó el análisis en la sección A debido a que la sección B presentaba un comportamiento caótico. Por ello se analiza para diferentes lotes de producción de la sección A. Los resultados mostrados en la iteración 4.1.1 fueron reportados a los supervisores de la fábrica lo que llevo a disminuir el tiempo de secado de las pastas alimenticias, modificando el proceso de producción, para lo cual se procedió a secar el producto por 24 horas sin cambio de sección como se lo hacía en un principio.

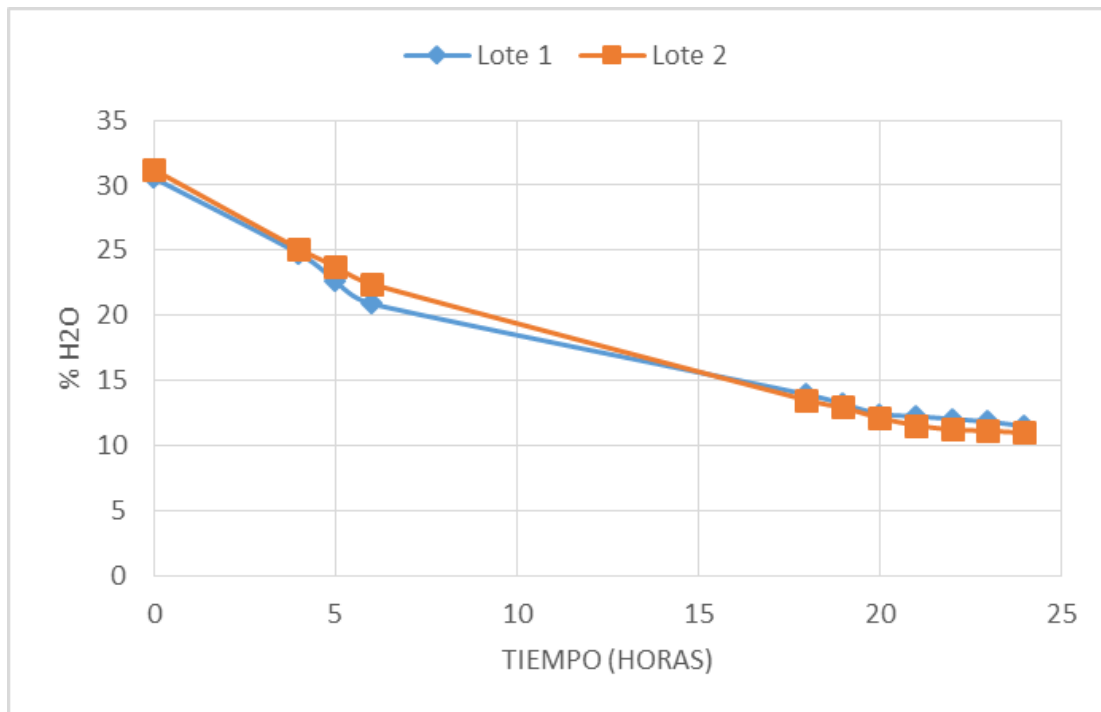


Figura 27. Curva de secado de la sección A en relación al contenido de humedad en base húmeda para el proceso de 24 horas

De acuerdo al análisis de las curvas de secado en relación al contenido de humedad en base húmeda de las pastas alimenticias, ver figura 27, en un tiempo de 24 horas se aprecia que el proceso de secado es casi el mismo para los dos lotes analizados. Con lo que podemos concluir que aproximadamente a las 18 horas ya se cuenta con un contenido de humedad en base húmeda del 14 %, límite máximo permisible que la norma NTE INEN 1375 (2004) requiere. En tanto que a partir de las 21 horas la humedad en base húmeda en las pastas alimenticias baja a 12%, valor ideal para su conservación (Casp, Tecnología de los alimentos de origen vegetal, 2014).

En el caso de materiales sólidos en los que hay evaporación de agua, como es el caso del secado de pastas alimenticias, la masa de agua cambia, sin embargo los sólidos secos se mantienen constantes. Es por ello que en la figura 28 se muestra la isoterma de sorción que representa el contenido de humedad en base seca en función de la a_w .

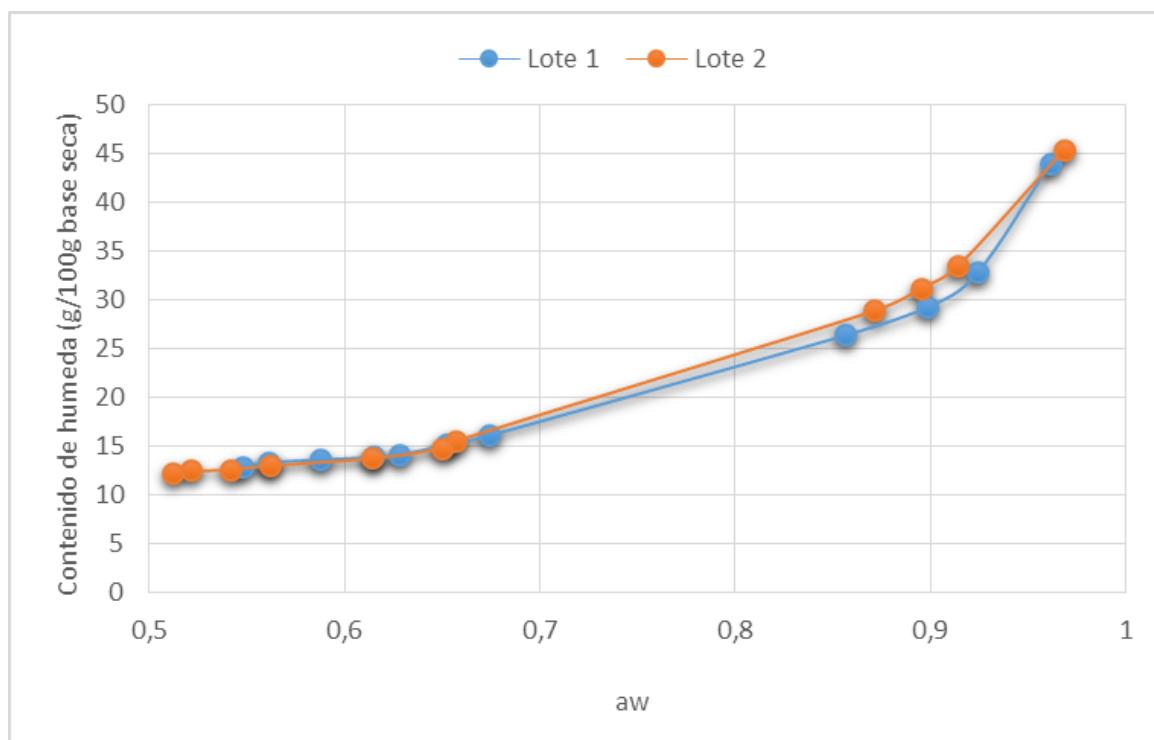


Figura 28. Isoterma de desorción de la sección A en relación al contenido de humedad en base seca para el proceso de 24 horas

La determinación de estas curvas se hizo a partir de la figura 27, en este caso lo que se muestra son las isothermas de desorción que las pastas alimenticias presentan en el proceso de secado de la fábrica. Lo que refleja un proceso de deshidratación llevando consigo una pérdida de agua. Según (Industria alimentaria, 2017), la a_w para pastas alimenticias debe ser menor a 0,6; valor a partir del cual los microorganismos se inhiben en su crecimiento. En lo cual según se muestra en la figura 28 tenemos que para una $a_w < 0,6$ el contenido de humedad en base seca está por debajo de 14 g/100 g base seca.

4.2 Análisis de las pruebas piloto de secado

En la tabla 7 se muestran los datos iniciales y finales de las muestras que fueron ensayadas a las temperaturas de 35°C, 46°C y 57°C, es así que para estas pruebas el tallarín a secarse presenta una humedad inicial promedio de 31% y una actividad acuosa de 0,96 las cuales son secadas por un tiempo hasta adquirir un peso constante obteniendo un contenido de agua final promedio de 6,72% así mismo una actividad acuosa final de 0,25. Esto como promedio de todas las muestras ensayadas.

Tabla 7. Parámetros de las muestras en los diferentes ensayos

Temperatura °C	Tiempo horas	Inicial		Final	
		% H ₂ O	a_w	%H ₂ O	a_w
35	12,1	31,54	0,967	7,14	0,254
46	9,1	30,87	0,953	6,82	0,246
57	9	31,2	0,962	6,21	0,251

De la figura 29 y 30 se muestran las curvas de secado de cada muestra y el efecto que tiene la misma a diferentes temperaturas, en las cuales se muestran la disminución de la humedad de los tallarines. Por ejemplo en la figura 30 el contenido de humedad inicial en base seca promedio es de 35g de agua / 100g de sólido seco que va hasta el valor promedio de 7,21g de agua/100g de sólido seco, que fueron determinadas por medio de la pérdida de peso

durante el secado. En todas las curvas se puede observar un comportamiento típico en el que inicialmente, y por un breve periodo de tiempo, el contenido de agua disminuye linealmente (fase antecrítica de secado) y luego comienza a disminuir más lentamente, entrando a la etapa de velocidad decreciente.

El tiempo de secado hasta obtener un peso constante, como se observa en las curvas, difiere notablemente para cada temperatura. Para nuestro interés el tiempo de secado para una humedad en base seca de 13,63 g H₂O/100g ss es de 4 horas para la temperatura de 35°C; de 3,2 horas para la temperatura de 46°C; y de 2 horas para la temperatura de 57°C.

Es evidente que en las actuales circunstancias no podemos replicar las condiciones de experimentación para el proceso de secado de la fábrica, pero si constituyen estos ensayos un importante referente que debe inducir a innovación tecnológica. Aunque hay que tener en cuenta que no siempre una mayor temperatura nos dará un mejor producto ya que si los otros parámetros como humedad relativa, velocidad y distribución de aire no son los adecuados, el producto puede presentar defectos en sus propiedades reológicas y su textura. Cambiar en el proceso, como los sugeridos, requieren de mayores ensayos y un estudio más sistemático.

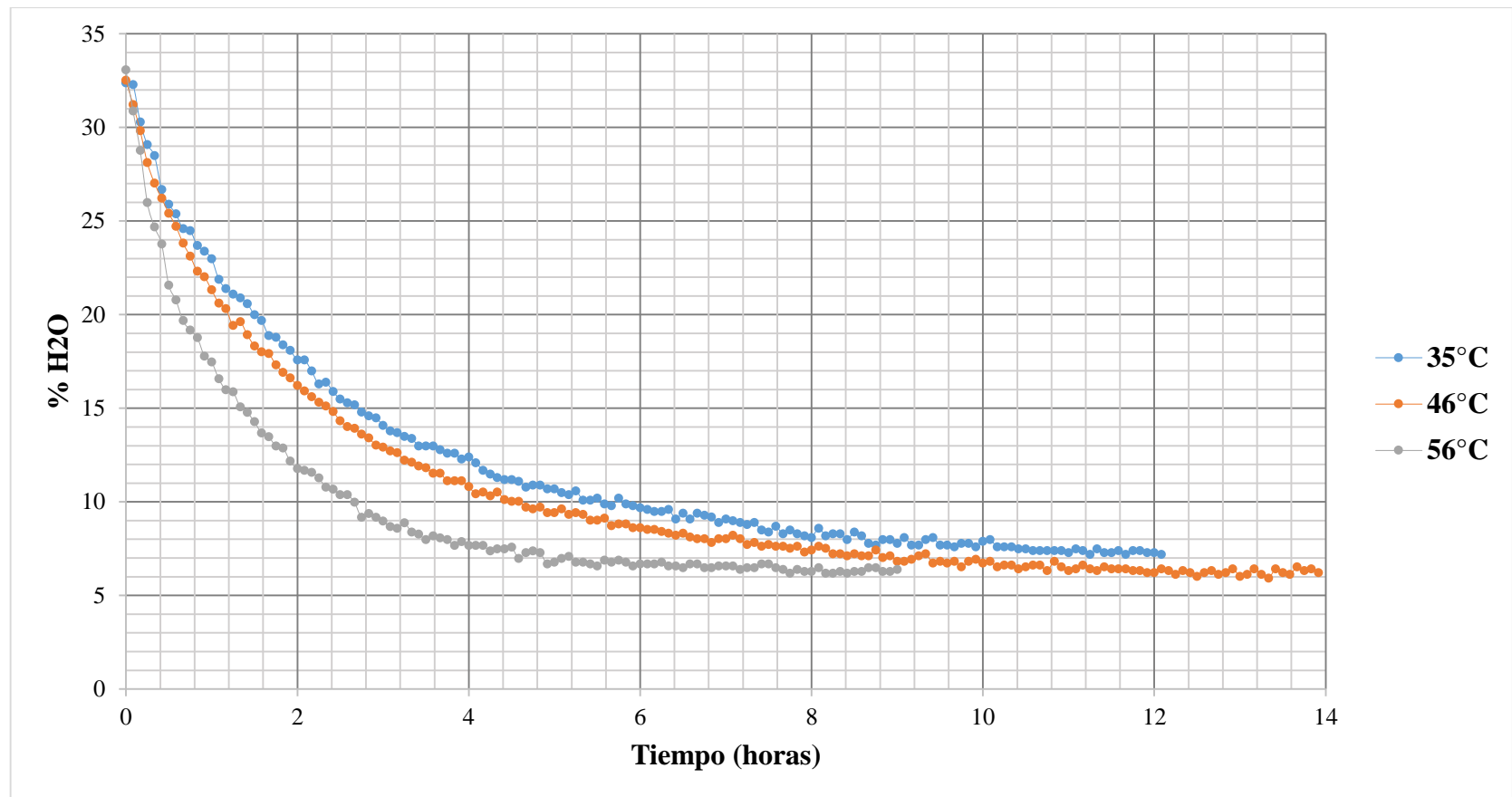


Figura 29. Curvas de secado a diferentes temperaturas en relación al contenido de humedad en base húmeda

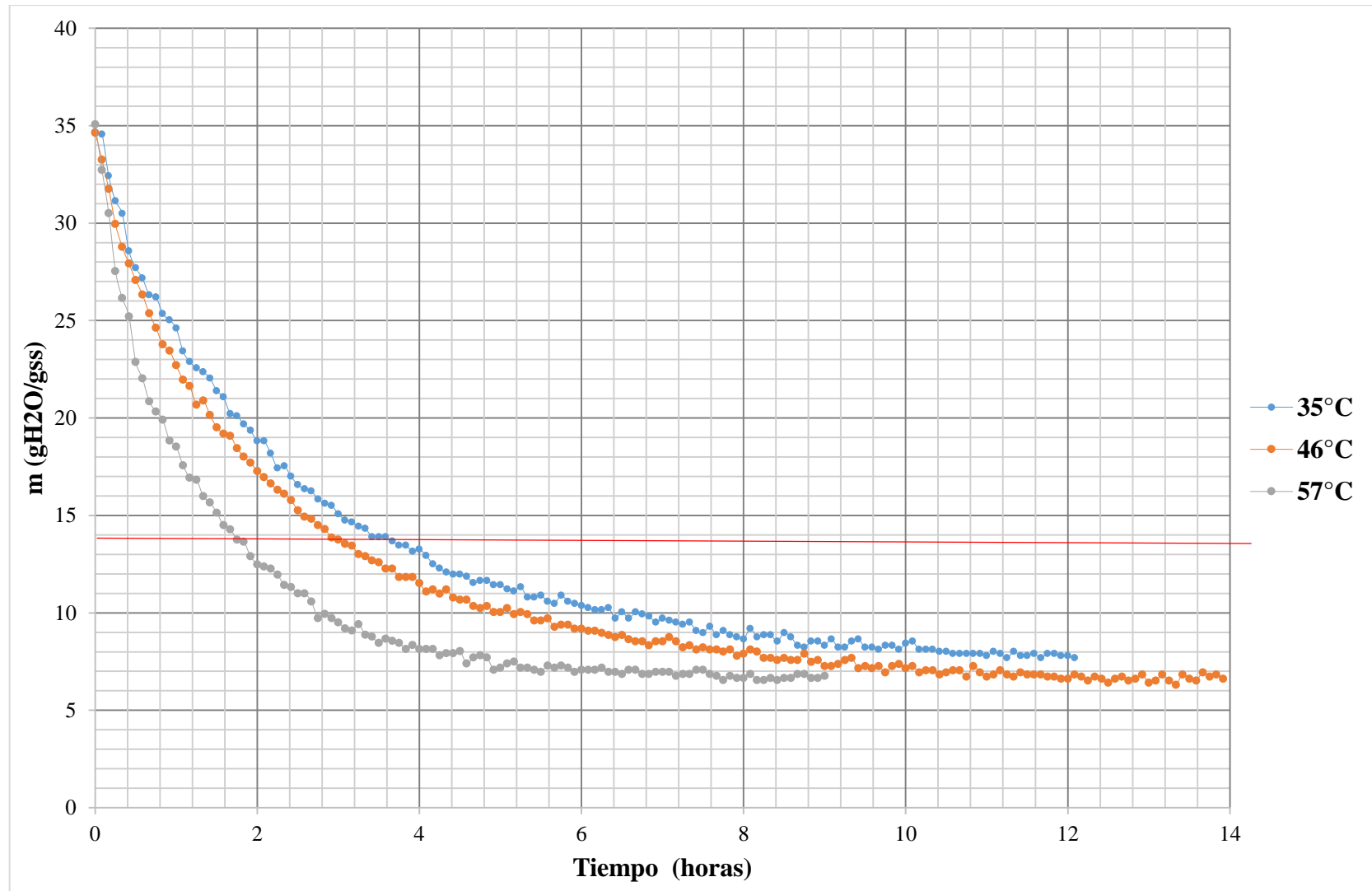


Figura 30. Curvas de secado a diferentes temperaturas en relación al contenido de humedad en base seca



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Es evidente que el contenido de humedad y a_w de las pastas alimenticias es un índice de estabilidad y calidad del producto, es por ello que el análisis en gran parte del trabajo se enfocó en estos parámetros.
- El contenido de humedad inicial de la masa húmeda con el que trabaja la fábrica es de 31% H_2O , parámetro adecuado en pastas alimenticias a ser secadas.
- Mediante la ejecución de este trabajo se obtuvieron importantes logros, siendo uno de ellos la reducción de 20 horas en el proceso de secado de la fábrica y consigo el aumento del contenido de humedad en base húmeda del 9,11% hasta aproximadamente el 12% de humedad en base húmeda, produciendo de esta manera un incremento de rendimiento en las materias primas de un 6%. Lo cual prevé una disminución en costos de producción y un aumento en productividad.
- Para una $a_w < 0,6$ la humedad en base seca de las pastas alimenticias de la fábrica tendrán que ser menor a 14 g $H_2O/100g$ ss. En tanto que para obtener un contenido de humedad en base húmeda del 14% el tiempo de secado debe ser de aproximadamente 17,7 horas, y para un contenido de humedad en base húmeda de 12% el tiempo de secado será de aproximadamente 21 horas, trabajando con rangos de temperatura y humedad relativa de $18^{\circ}C - 32^{\circ}C$ y 31% - 80% respectivamente y con una velocidad de aire de 1,5 m/s.
- Las curvas de secado demuestran que el contenido de agua disminuye de forma lineal, durante un periodo, por lo que la velocidad de secado en esta etapa se

mantiene constante, el agua fluye de las capas internas a la superficie de la pasta manteniendo evaporación superficial constante, luego el contenido de agua se va disminuyendo, la superficie va presentando zonas secas, el agua a eliminar ya no está en la superficie sino dentro de la estructura del alimento y tendrá que para ser eliminado transitar por pequeños capilares lo que conlleva a que la eliminación de agua sea más lenta dando un periodo de velocidad decreciente.

- Con respecto a los ensayos que se realizaron, se concluye que el tiempo de secado de las pastas alimenticias resulta muy dependiente de las condiciones de temperatura con las que se opera, variando entre 120 y 240 minutos para llegar a la humedad en base seca final de 13,6 g H₂O/100g ss. El proceso más largo, como era de esperar, fue el correspondiente a temperatura más baja (35°C), por el contrario el tiempo de secado se redujo significativamente cuando se utilizó la condición de alta temperatura (57°C).

5.2 Recomendaciones

- Si bien se logró disminuir el tiempo de secado, el proceso de secado de pastas alimenticias podría mejorar aún más con una mejor distribución de equipos, para que parámetros como distribución de aire caliente, humedad relativa y temperatura de secado sean los adecuados.
- Se recomienda la adquisición de ventiladores axiales que ayuden a mantener la circulación de aire uniforme en todo el cuarto.
- Es indispensable implementar un laboratorio de calidad en el cual se puedan analizar las materias primas, el proceso de secado, así como también el producto final todos los días, es por esta razón que se debería implementar uno lo más pronto posible, con equipos de operaciones analíticas similares a las utilizadas en este trabajo.



BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, V. (2006). *Efecto de las condiciones de Almacenamiento en el Tiempo de Vida Útil de Productos de Consumo Masivos de Baja Humedad Empacados en Películas Plásticas*. Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción.
- Badui, S. (2013). *Química de los Alimentos* (Quinta ed.). Naucalpan de Juárez, México: Pearson.
- Benavides, C. (2002). *Diseño de un sistema de Análisis de Riesgos y Puntos Críticos de control (HACCP) para una línea de producción de Pastas Secas*. Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, Guayaquil. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/7759/3/Tesis%20Clara%20Benavides.pdf>
- Candia, H. (2008). *Portal Guarani*. Obtenido de Portal Guarani: http://www.portalguarani.com/2320_hernan_candia_roman/21898_trigo__obra_de_investigacion_prof_dr_hernan_candia_roman.html
- Casp, A. (2014). *Tecnología de los alimentos de origen vegetal* (Vol. II). Madrid, España: Síntesis.
- Casp, A. (2014). *Tecnología de los alimentos de Origen vegetal* (Vol. I). Madrid, España: Síntesis.
- Charley, H. (1990). *Preparación de Alimentos*. D.F, México: Limusa.
- Combelli, R. F. (1952). *Fabricación de fideos y otras pastas alimenticias* (Primera ed.). (J. Montesó, Ed.) Buenos Aires : Imprenta Clarasó.
- Cuaila, Y. (2014). *Molienda de granos de cereales (molienda seca) análisis de harinas obtenidas*. Universidad Católica de Santa María, Facultad de Ciencia e Ingenierías Biológicas y Químicas, Arequipa. Obtenido de <https://es.slideshare.net/yalennic/molienda-de-granos-de-cereales-molienda-seca-analisis-de-harinas-obtenidas>
- Desrosier, N. W. (2004). *Conservación de Alimentos*. D. F, México: Continental.



- Gan, A., & Sandoval, N. (2003). *Diseño del sistema de control del proceso de secado de pastas alimenticias*. Universidad de Pamplona, Grupo de investigación: automatización y control, Pamplona. Obtenido de http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallIG/home_40/recursos/01_genera/revista_2/09102011/v02_11.pdf
- Gil, A. (2010). *Tratado de Nutrición* (Segunda ed., Vol. IV). Madrid: Medica Panamericana. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=R3xHftuSHp4C&printsec=frontcover&dq=tratado+de+nutricion&hl=es-419&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=tratado%20de%20nutricion&f=false
- Industria alimentaria. (2017). Obtenido de <http://industrias-alimentarias.blogspot.com/2010/04/la-actividad-de-agua-en-los-alimentos.html>
- Infoalimentacion .com. (s.f.). *Propiedades nutricionales de la pasta* . Obtenido de http://www.infoalimentacion.com/cereales/propiedades_nutricionales_pasta.htm
- Jeantet, R., Croguennec, T., Schuck, P., & Brulé, G. (2013). *Ciencia de los Alimentos* (Vol. I). Zaragoza, España: Acribia.
- Juárez, Z. N., Bárcenas, M. E., & Hernández, L. R. (2014). *El grano de trigo: características generales y algunas problemáticas y soluciones a su almeacenamiento*. Universidad de las Américas Puebla, Mexico. Obtenido de <http://web.udlap.mx/tsia/files/2015/05/TSIA-81-Juarez-et-al-2014.pdf>
- Kent, N. L. (1971). *Tecnología d elos Cereales* . Zaragoza , España: Acribia .
- LabFerrer. (s.f.). *AquaLab* . Obtenido de AquaLab : <http://blog.actividaddeagua.com/wp-content/uploads/2014/05/Fundamentos-de-actividad-de-agua.pdf>
- Larrosa, V., Lorenzo, G., & Zaritzky, N. (2016). *Modelo matemático del secado de pastas libres de gluten en relación a la temperatura y humedad relativa del aire*. Universidad nacional de La Plata, Departamento de Ingeniería Química, Argentina. Obtenido de [file:///C:/Users/user1/Downloads/31297%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/user1/Downloads/31297%20(4).pdf)
- Mariño, G., & Arias, J. (1981). *Optimización del secado de fideos*. Tesis de Pregrado, Universidad de Cuenca, Cuenca.



- Martínez, J. (27 de Enero de 2012). *El Club del Pan*. Obtenido de El Club del Pan:
http://www.elclubdelpan.com/libro_maestro/descripci%C3%B3n-del-grano-del-trigo
- Mora, A. (2012). *Evaluación de la calidad de cocción y calidad sensorial de pasta elaborada a partir de mezclas de sémola de trigo y harina de quinua*. Trabajo de Tesis , Universidad Nacional de Colombia, Medellín. Obtenido de http://www.bdigital.unal.edu.co/6891/1/52869580._2012.pdf
- Nogara, S. (1964). *Elaboración de Pastas Alimenticias* (Tercera ed.). Barcelona, España: Sintesis.
- NTE INEN 1375. (2014). *Pastas Alimenticias o Fideos Secos. Requisitos* . Servicio Ecuatoriano de Normalización, Quito . Obtenido de Servicio Ecuatoriano de Normalización: http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/NORMAS_2014/ACO/17122014/nte-inen-1375-2r.pdf
- Orrego, C. (2003). *Procesamiento de Alimentos* (Primera ed.). Manizales , Colombia . Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/9053/1/958932280.pdf>
- Pepe, F. (2012). *Comparación de las mezclas de harina de trigo (Triticum spp) y chocho (Lupinus mutabilis) en la evaluación sensorial de pastas*. Tesis de pregrado , Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos, Ambato. Obtenido de <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3055/1/AL479.pdf>
- Singh, R. P., & Heldman, D. R. (2009). *Introducción a la ingeniería de los alimentos* (Segunda ed.). Zaragoza , España: Acribia .
- Wikispaces. (2017). *Psicrometria*. Obtenido de <https://procesosbio.wikispaces.com/file/view/carta%20psicometrica.pdf/350357460/carta%20psicometrica.pdf>

ANEXOS**DATOS OBTENIDOS****Tabla 8.** Datos del sensor 1 para la generación de las curvas de la figura 15

Tiempo (h)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
1	23,8	76
2	24,6	75
3	25,4	74
4	25,3	73
5	25,1	72
18	29,8	63
23	31,2	45
25	32,3	41
26	33,3	40
27	33,1	40
40	23,8	44

Tabla 9. Datos del sensor 2 para la generación de las curvas de la figura 16

Tiempo (h)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
1	25,7	63
2	25,6	63
3	25,8	68
4	23,2	70
5	23,9	70
6	23,9	69
7	23,3	70
8	23	69
9	22,6	69
10	22,2	68
11	21,7	68
12	21,3	66
13	21	65
14	20,7	65
15	20,3	65
16	18,3	65
17	18	65
18	21,6	60
19	22,7	56
20	27,8	51
21	29,7	50
22	30,4	45
23	30,1	44
24	28,2	43
25	30,1	41
26	31,1	40
27	30,1	40
28	29,7	41
40	27,7	40

Tabla 10. Datos del sensor 3 para la generación de las curvas de la figura 17

Tiempo (h)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
1	22,7	45
2	22,2	49
3	20,4	53
4	18,8	63
5	19,1	61
6	18,4	61
7	18	61
8	17,8	63
9	17,2	61
10	16,9	61
11	16,4	61
12	15,9	63
13	15,6	65
14	15,4	65
15	14,9	65
16	14,3	70
17	15,5	65
18	18,6	55
19	21,2	45
20	24,3	40
21	25,7	39
22	27,2	31
23	25,8	35
24	24,3	35
25	26	35
26	26,2	34
40	25,5	40

Tabla 11. Datos del sensor 4 para la generación de las curvas de la figura 18

Tiempo (h)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
1	23,9	75
2	24,4	75
3	22,8	75
4	22,5	76
5	23,5	75
6	23,6	74
7	23,1	73
8	22,8	73
9	22,5	70
10	22,3	69
11	21,9	68
12	21,6	66
13	21,1	65
14	20,8	65
15	20,5	65
16	18,1	66
17	16,9	68
18	20,2	63
19	20,4	65
20	25,8	61
21	27,6	56
22	28,7	51
23	28,7	50
24	26,6	48
25	29	46
26	30,1	44
27	29,7	44
28	29,4	43
40	23	48

Tabla 12. Datos del sensor 5 para la generación de las curvas de la figura 19

Tiempo (h)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
1	37	40
2	35,4	41
3	33,8	45
4	27	56
5	29,6	53
6	29,5	53
7	28,4	54
8	28,1	54
9	27,2	55
10	26,9	53
11	26,2	54
12	24,9	55
13	23,7	56
14	23,2	58
15	22,3	59
16	18	65
17	16,8	68
18	22,2	58
19	21,8	58
20	31,8	45
21	33,9	41
22	34,1	40
23	33,2	40
24	27,9	41
25	34,6	37
26	35,4	35
27	34,3	35
28	33,4	35
40	23	44

Tabla 13. Datos del sensor 6 para la generación de las curvas de la figura 20

Tiempo (h)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
1	23,6	78
2	24,3	76
3	24,3	75
17	17,4	65
18	20,1	63
19	20,8	65
20	24,1	66
21	26,4	61
22	27,7	55
23	28,4	51
24	27,4	45
25	28,1	48
26	29,5	45
27	29,6	43
28	29,8	41
40	24,2	41

Tabla 14. Datos del sensor 7 para la generación de las curvas de la figura 21

Tiempo (h)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
1	23,5	74
2	25,1	71
3	25,1	66
4	23,3	71
5	24,2	69
6	24,4	68
7	24,2	66
8	23,9	65
9	23,8	63
10	23,5	63
11	23,2	61
12	22,8	60
13	22,4	59
14	22,2	58
15	21,8	58
16	19,3	59
17	17,8	61
18	21	59
19	21,1	61
20	26,3	58
21	29,2	51
22	29,8	48
23	30,3	44
24	28,1	41
25	30,3	41
26	32,3	40
27	32,6	35
28	32,3	35
40	23,7	42

Tabla 15. Datos del sensor 8 para la generación de las curvas de la figura 22

Tiempo (h)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
1	24,7	75
2	25,1	75
3	24,6	75
4	23	78
5	23,6	76
6	23,7	75
7	23,3	75
8	23,1	74
9	22,7	73
10	22,3	70
11	21,9	70
12	21,7	69
13	21,3	68
14	21,2	66
15	20,8	65
16	18,8	65
17	18,2	65
18	21,2	63
19	22,2	61
20	27,4	56
21	29,7	53
22	30,4	48
23	30,5	45
24	28,4	43
25	30,6	41
26	32,2	40
27	31,6	40
28	31,3	40
40	25	42

Tabla 16. Datos del sensor 9 para la generación de las curvas de la figura 23

Tiempo (h)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
1	27,7	55
2	28,2	55
3	27,8	55
4	26,1	59
5	26,7	56
6	26,7	55
7	26,1	55
8	26,1	55
9	25,6	55
10	25,2	54
11	25,1	53
12	24,6	53
13	24,2	53
14	23,8	53
15	23,6	51
16	18,6	61
17	17,4	63
18	23,1	51
19	22,3	55
20	31,1	44
21	33,3	41
22	34,4	39
23	34,1	37
24	29	37
25	34,1	35
26	35,7	32
27	35	31
28	34,1	31
40	25	41

**Tabla 17.** Datos del sensor 10 para la generación de las curvas de la figura 24

Tiempo (h)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
1	23	78
2	23,7	78
3	24,1	78
4	21,7	80
5	22,5	79
6	22,5	78
7	21,9	75
8	21,9	75
9	21,6	74
10	21,2	73
11	20,8	71
12	20,6	70
13	20,3	69
14	20,1	68
15	19,8	69
16	18	67
17	16,9	68
18	19,7	66
19	21	63
20	24,7	63
21	27,1	58
22	28,4	51
23	28,7	50
40	23	49

Tabla 18. Datos para las curvas de secado a 35°C de la figura 28 y 29

Tiempo (horas)	Peso (g)	% H ₂ O	m (gH ₂ O/100gss)	Tiempo (horas)	Peso (g)	% H ₂ O	m (gH ₂ O/100gss)	Tiempo (horas)	Peso (g)	% H ₂ O	m (gH ₂ O/100gss)
0,0	100,6	32,38	34,66	2,3	84,6	16,38	17,54	4,6	79,3	11,08	11,86
0,1	100,5	32,28	34,56	2,4	84,1	15,88	17,00	4,7	79	10,78	11,54
0,2	98,5	30,28	32,42	2,5	83,7	15,48	16,57	4,8	79,1	10,88	11,65
0,3	97,3	29,08	31,13	2,6	83,5	15,28	16,36	4,8	79,1	10,88	11,65
0,3	96,7	28,48	30,49	2,7	83,4	15,18	16,25	4,9	78,9	10,68	11,44
0,4	94,9	26,68	28,56	2,8	83	14,78	15,82	5,0	78,9	10,68	11,44
0,5	94,1	25,88	27,71	2,8	82,8	14,58	15,61	5,1	78,7	10,48	11,22
0,6	93,6	25,38	27,17	2,9	82,7	14,48	15,50	5,2	78,6	10,38	11,11
0,7	92,8	24,58	26,32	3,0	82,3	14,08	15,08	5,3	78,8	10,58	11,33
0,8	92,7	24,48	26,21	3,1	82	13,78	14,75	5,3	78,3	10,08	10,79
0,8	91,9	23,68	25,35	3,2	81,9	13,68	14,65	5,4	78,3	10,08	10,79
0,9	91,6	23,38	25,03	3,3	81,7	13,48	14,43	5,5	78,4	10,18	10,90
1,0	91,2	22,98	24,60	3,3	81,6	13,38	14,33	5,6	78,1	9,88	10,58
1,1	90,1	21,88	23,42	3,4	81,2	12,98	13,90	5,7	78	9,78	10,47
1,2	89,6	21,38	22,89	3,5	81,2	12,98	13,90	5,8	78,4	10,18	10,90
1,3	89,3	21,08	22,57	3,6	81,2	12,98	13,90	5,8	78,1	9,88	10,58
1,3	89,1	20,88	22,35	3,7	81	12,78	13,68	5,9	78	9,78	10,47
1,4	88,8	20,58	22,03	3,8	80,8	12,58	13,47	6,0	77,9	9,68	10,37
1,5	88,2	19,98	21,39	3,8	80,8	12,58	13,47	6,1	77,8	9,58	10,26
1,6	87,9	19,68	21,07	3,9	80,5	12,28	13,15	6,2	77,7	9,48	10,15
1,7	87,1	18,88	20,21	4,0	80,6	12,38	13,26	6,3	77,7	9,48	10,15
1,8	87	18,78	20,11	4,1	80,3	12,08	12,93	6,4	77,3	9,08	9,72
1,8	86,6	18,38	19,68	4,2	79,9	11,68	12,51	6,5	77,6	9,38	10,04
1,9	86,3	18,08	19,36	4,3	79,7	11,48	12,29	6,6	77,3	9,08	9,72
2,0	85,8	17,58	18,82	4,3	79,5	11,28	12,08	6,7	77,6	9,38	10,04
2,1	85,8	17,58	18,82	4,4	79,4	11,18	11,97	6,8	77,5	9,28	9,94

Tabla 19. Continuación

Tiempo (horas)	Peso (g)	% H ₂ O	m (gH ₂ O/100gss)	Tiempo (horas)	Peso (g)	% H ₂ O	m (gH ₂ O/100gss)	Tiempo (horas)	Peso (g)	% H ₂ O	m (gH ₂ O/100gss)
7,0	77,3	9,08	9,72	9,3	76,2	7,98	8,55	11,6	75,6	7,38	7,90
7,1	77,2	8,98	9,62	9,4	76,3	8,08	8,65	11,7	75,4	7,18	7,69
7,2	77,1	8,88	9,51	9,5	75,9	7,68	8,22	11,8	75,6	7,38	7,90
7,3	77	8,78	9,40	9,6	75,9	7,68	8,22	11,9	75,5	7,28	7,80
7,3	77,1	8,88	9,51	9,7	75,8	7,58	8,12	12,0	75,5	7,28	7,80
7,4	76,7	8,48	9,08	9,8	76	7,78	8,33	12,1	75,4	7,18	7,69
7,5	76,6	8,38	8,97	9,8	76	7,78	8,33				
7,6	76,9	8,68	9,29	9,9	75,8	7,58	8,12				
7,7	76,5	8,28	8,87	10,0	76,1	7,88	8,44				
7,8	76,7	8,48	9,08	10,1	76,2	7,98	8,55				
7,8	76,5	8,28	8,87	10,2	75,8	7,58	8,12				
7,9	76,4	8,18	8,76	10,3	75,8	7,58	8,12				
8,0	76,3	8,08	8,65	10,3	75,8	7,58	8,12				
8,1	76,8	8,58	9,19	10,4	75,7	7,48	8,01				
8,2	76,4	8,18	8,76	10,5	75,7	7,48	8,01				
8,3	76,5	8,28	8,87	10,6	75,6	7,38	7,90				
8,3	76,5	8,28	8,87	10,7	75,6	7,38	7,90				
8,4	76,2	7,98	8,55	10,8	75,6	7,38	7,90				
8,5	76,6	8,38	8,97	10,8	75,6	7,38	7,90				
8,6	76,4	8,18	8,76	10,9	75,6	7,38	7,90				
8,7	76	7,78	8,33	11,0	75,5	7,28	7,80				
8,8	75,9	7,68	8,22	11,1	75,7	7,48	8,01				
8,8	76,2	7,98	8,55	11,2	75,6	7,38	7,90				
8,9	76,2	7,98	8,55	11,3	75,4	7,18	7,69				
9,0	76	7,78	8,33	11,3	75,7	7,48	8,01				
9,1	76,3	8,08	8,65	11,4	75,5	7,28	7,80				

Tabla 20. Datos para las curvas de secado a 46°C de la figura 28 y 29

Tiempo (horas)	Peso (g)	% H ₂ O	m (gH ₂ O/100gss)	Tiempo (horas)	Peso (g)	% H ₂ O	m (gH ₂ O/100gss)	Tiempo (horas)	Peso (g)	% H ₂ O	m (gH ₂ O/100gss)
0,0	100,1	32,52	34,63	2,3	82,9	15,32	16,31	4,6	77,6	10,02	10,67
0,1	98,8	31,22	33,25	2,4	82,4	14,82	15,78	4,7	77,3	9,72	10,35
0,2	97,4	29,82	31,76	2,5	81,9	14,32	15,25	4,8	77,3	9,72	10,35
0,3	95,7	28,12	29,95	2,6	81,6	14,02	14,93	4,9	77	9,42	10,03
0,3	94,6	27,02	28,78	2,7	81,5	13,92	14,82	5,0	77	9,42	10,03
0,4	93,8	26,22	27,92	2,8	81,2	13,62	14,50	5,1	77,2	9,62	10,24
0,5	93	25,42	27,07	2,8	81	13,42	14,29	5,2	76,9	9,32	9,92
0,6	92,3	24,72	26,33	2,9	80,6	13,02	13,86	5,3	77	9,42	10,03
0,7	91,4	23,82	25,37	3,0	80,5	12,92	13,76	5,3	76,9	9,32	9,92
0,8	90,7	23,12	24,62	3,1	80,3	12,72	13,54	5,4	76,6	9,02	9,60
0,8	89,9	22,32	23,77	3,2	80,2	12,62	13,44	5,5	76,6	9,02	9,60
0,9	89,6	22,02	23,45	3,3	79,8	12,22	13,01	5,6	76,7	9,12	9,71
1,0	88,9	21,32	22,70	3,3	79,7	12,12	12,91	5,7	76,3	8,72	9,28
1,1	88,2	20,62	21,96	3,4	79,5	11,92	12,69	5,8	76,4	8,82	9,39
1,2	87,9	20,32	21,64	3,5	79,4	11,82	12,59	5,8	76,4	8,82	9,39
1,3	87	19,42	20,68	3,6	79,1	11,52	12,27	5,9	76,2	8,62	9,18
1,3	87,2	19,62	20,89	3,7	79,1	11,52	12,27	6,0	76,2	8,62	9,18
1,4	86,5	18,92	20,15	3,8	78,7	11,12	11,84	6,1	76,1	8,52	9,07
1,5	85,9	18,32	19,51	3,8	78,7	11,12	11,84	6,2	76,1	8,52	9,07
1,6	85,6	18,02	19,19	3,9	78,7	11,12	11,84	6,3	76	8,42	8,96
1,7	85,5	17,92	19,08	4,0	78,4	10,82	11,52	6,3	75,9	8,32	8,86
1,8	84,9	17,32	18,44	4,1	78	10,42	11,09	6,4	75,8	8,22	8,75
1,8	84,5	16,92	18,02	4,2	78,1	10,52	11,20	6,5	75,9	8,32	8,86
1,9	84,2	16,62	17,70	4,3	77,9	10,32	10,99	6,6	75,7	8,12	8,64
2,0	83,8	16,22	17,27	4,3	78,1	10,52	11,20	6,7	75,6	8,02	8,54
2,1	83,5	15,92	16,95	4,4	77,7	10,12	10,78	6,8	75,6	8,02	8,54

Tabla 21. Continuación

Tiempo (horas)	Peso (g)	% H ₂ O	m (gH ₂ O/100gs)	Tiempo (horas)	Peso (g)	% H ₂ O	m (gH ₂ O/100gss)	Tiempo (horas)	Peso (g)	% H ₂ O	m (gH ₂ O/100gss)
7,0	75,6	8,02	8,54	9,2	74,5	6,92	7,37	11,3	73,9	6,32	6,73
7,1	75,8	8,22	8,75	9,3	74,7	7,12	7,58	11,4	74,1	6,52	6,94
7,2	75,6	8,02	8,54	9,3	74,8	7,22	7,69	11,5	74	6,42	6,83
7,3	75,3	7,72	8,22	9,4	74,3	6,72	7,15	11,6	74	6,42	6,83
7,3	75,4	7,82	8,33	9,5	74,4	6,82	7,26	11,7	74	6,42	6,83
7,4	75,2	7,62	8,11	9,6	74,3	6,72	7,15	11,8	73,9	6,32	6,73
7,5	75,3	7,72	8,22	9,7	74,4	6,82	7,26	11,9	73,8	6,22	6,62
7,6	75,2	7,62	8,11	9,8	74,1	6,52	6,94	12,0	73,8	6,22	6,62
7,7	75,2	7,62	8,11	9,8	74,4	6,82	7,26	12,1	74	6,42	6,83
7,8	75,1	7,52	8,01	9,9	74,5	6,92	7,37	12,2	73,9	6,32	6,73
7,8	75,2	7,62	8,11	10,0	74,3	6,72	7,15	12,3	73,7	6,12	6,51
7,9	74,9	7,32	7,79	10,1	74,4	6,82	7,26	12,3	73,9	6,32	6,73
8,0	75	7,42	7,90	10,2	74,1	6,52	6,94	12,4	73,8	6,22	6,62
8,1	75,2	7,62	8,11	10,3	74,2	6,62	7,05	12,5	73,6	6,02	6,41
8,2	75,1	7,52	8,01	10,3	74,2	6,62	7,05	12,6	73,8	6,22	6,62
8,3	74,8	7,22	7,69	10,4	74	6,42	6,83	12,7	73,9	6,32	6,73
8,3	74,8	7,22	7,69	10,5	74,1	6,52	6,94	12,8	73,7	6,12	6,51
8,4	74,7	7,12	7,58	10,6	74,2	6,62	7,05	12,8	73,8	6,22	6,62
8,5	74,8	7,22	7,69	10,7	74,2	6,62	7,05	12,9	74	6,42	6,83
8,6	74,7	7,12	7,58	10,8	73,9	6,32	6,73	13,0	73,6	6,02	6,41
8,7	74,7	7,12	7,58	10,8	74,4	6,82	7,26	13,1	73,7	6,12	6,51
8,8	75	7,42	7,90	10,9	74,1	6,52	6,94	13,2	74	6,42	6,83
8,8	74,6	7,02	7,47	11,0	73,9	6,32	6,73	13,7	74,1	6,52	6,94
8,9	74,7	7,12	7,58	11,1	74	6,42	6,83	13,8	73,9	6,32	6,73
9,0	74,4	6,82	7,26	11,2	74,2	6,62	7,05	13,8	74	6,42	6,83
9,1	74,4	6,82	7,26	11,3	74	6,42	6,83	13,9	73,8	6,22	6,62

Tabla 22. Datos para las curvas de secado a 57°C de la figura 28 y 29

Tiempo (horas)	Peso (g)	% H ₂ O	m (gH ₂ O/100gss)	Tiempo (horas)	Peso (g)	% H ₂ O	m (gH ₂ O/100gss)	Tiempo (horas)	Peso (g)	% H ₂ O	m (gH ₂ O/100gss)
0,0	100,7	33,57	35,77	2,3	78,9	11,77	12,54	4,5	75,2	8,07	8,60
0,1	98,5	31,37	33,43	2,3	78,4	11,27	12,01	4,6	74,6	7,47	7,96
0,2	96,4	29,27	31,19	2,4	78,3	11,17	11,90	4,7	74,9	7,77	8,28
0,3	93,6	26,47	28,21	2,5	78	10,87	11,58	4,8	75	7,87	8,38
0,3	92,3	25,17	26,82	2,6	78	10,87	11,58	4,8	74,9	7,77	8,28
0,4	91,4	24,27	25,86	2,7	77,6	10,47	11,16	4,9	74,3	7,17	7,64
0,5	89,2	22,07	23,52	2,8	76,8	9,67	10,30	5,0	74,4	7,27	7,75
0,6	88,4	21,27	22,67	2,8	77	9,87	10,52	5,1	74,6	7,47	7,96
0,7	87,3	20,17	21,49	2,9	76,8	9,67	10,30	5,2	74,7	7,57	8,07
0,8	86,8	19,67	20,96	3,0	76,6	9,47	10,09	5,3	74,4	7,27	7,75
0,8	86,4	19,27	20,53	3,1	76,3	9,17	9,77	5,3	74,4	7,27	7,75
0,9	85,4	18,27	19,47	3,2	76,2	9,07	9,66	5,4	74,3	7,17	7,64
1,0	85,1	17,97	19,15	3,3	76,5	9,37	9,98	5,5	74,2	7,07	7,53
1,1	84,2	17,07	18,19	3,3	76	8,87	9,45	5,6	74,5	7,37	7,85
1,2	83,6	16,47	17,55	3,4	75,9	8,77	9,34	5,7	74,4	7,27	7,75
1,3	83,5	16,37	17,44	3,5	75,6	8,47	9,02	5,8	74,5	7,37	7,85
1,3	82,7	15,57	16,59	3,6	75,8	8,67	9,24	5,8	74,4	7,27	7,75
1,4	82,4	15,27	16,27	3,7	75,7	8,57	9,13	5,9	74,2	7,07	7,53
1,5	81,9	14,77	15,74	3,8	75,6	8,47	9,02	6,0	74,3	7,17	7,64
1,6	81,3	14,17	15,10	3,8	75,3	8,17	8,70	6,1	74,3	7,17	7,64
1,7	81,1	13,97	14,89	3,9	75,5	8,37	8,92	6,2	74,3	7,17	7,64
1,8	80,6	13,47	14,35	4,0	75,3	8,17	8,70	6,3	74,4	7,27	7,75
1,8	80,5	13,37	14,25	4,1	75,3	8,17	8,70	6,3	74,2	7,07	7,53
1,9	79,8	12,67	13,50	4,2	75,3	8,17	8,70	6,4	74,2	7,07	7,53
2,0	79,4	12,27	13,07	4,3	75	7,87	8,38	6,5	74,1	6,97	7,43
2,1	79,3	12,17	12,97	4,3	75,1	7,97	8,49	6,6	74,3	7,17	7,64

Tabla 23. Continuación

Tiempo (horas)	Peso (g)	% H₂O	m (gH₂O/100gss)
6,8	74,1	6,97	7,43
6,9	74,2	7,07	7,43
7,0	74,2	7,07	7,53
7,1	74,2	7,07	7,53
7,2	74	6,87	7,53
7,3	74,1	6,97	7,32
7,3	74,1	6,97	7,43
7,4	74,3	7,17	7,43
7,5	74,3	7,17	7,64
7,6	74,1	6,97	7,64
7,7	74	6,87	7,43
7,8	73,8	6,67	7,32
7,8	74	6,87	7,11
7,9	73,9	6,77	7,32
8,0	73,9	6,77	7,21
8,1	74,1	6,97	7,21
8,2	73,8	6,67	7,43
8,3	73,8	6,67	7,11
8,3	73,9	6,77	7,11
8,4	73,8	6,67	7,21
8,5	73,9	6,77	7,11
8,6	73,9	6,77	7,21
8,7	74,1	6,97	7,21
8,8	74,1	6,97	7,43
8,8	73,9	6,77	7,43
8,9	73,9	6,77	7,21
9,0	74	6,87	7,32